

Proyecto Fin de Grado

Grado de Ingeniería Aeroespacial

Diseño e impresión 3D por deposición de fundido de un soporte ajustable para Smartphone

Autor: Manuel García Márquez

Tutor: Domingo Morales Palma

Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Proyecto Fin de Grado
Grado en Ingeniería Aeroespacial

Diseño e impresión 3D por deposición de fundido de un soporte ajustable para Smartphone

Autor:

Manuel García Márquez

Tutor:

Domingo Morales Palma

Profesor Contratado Doctor

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Grado: Diseño e impresión 3D por deposición de fundido de un soporte ajustable para Smartphone

Autor: Manuel García Márquez

Tutor: Domingo Morales Palma

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

A mi familia
A mis maestros

Resumen

En este proyecto se realiza una introducción a la fabricación aditiva en general y un estudio más detallado de una de las tecnologías de fabricación aditiva: la impresión 3D por deposición de fundido (FDM, por sus siglas en inglés). Como aplicación práctica, se ha realizado un proceso completo de diseño, fabricación y evaluación de un soporte para dispositivos móviles o "kit" de manos libres.

El diseño del producto, basado en un soporte existente en el mercado, se ha realizado en CATIA V5 teniendo en cuenta desde el principio la tecnología para su fabricación. El diseño incluye diferentes componentes y sistemas como un mecanismo de piñón y cremallera y un sistema de unión por ajuste.

La fabricación de los primeros prototipos y de los componentes finales del soporte se ha realizado en una impresora FDM del Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación. El material utilizado es un PLA (ácido poliláctico). Las piezas finales incluyen operaciones de post-tratamiento para mejorar sus características superficiales.

El proyecto incluye un análisis detallado de las dificultades encontradas para la fabricación de diversos elementos así como las soluciones adoptadas en cada uno de ellos. La evaluación final del soporte fabricado permite concluir que las prestaciones obtenidas son similares a la de otros soportes parecidos presentes en el mercado.

Abstract

In this project, an introduction to additive manufacturing in general and a more detailed study of one of the additive manufacturing technologies: 3D Fusion Deposition (FDM) is performed. As a practical application, a complete process of designing, manufacturing and evaluating a support for mobile devices or hands-free "kit" has been carried out.

The design of the product, based on existing support in the market, has been made in CATIA V5 taking into account from the outset the technology for its manufacture. The design includes different components and systems such as a rack and pinion mechanism and a fitting system.

The manufacture of the first prototypes and the final components of the support has been made in an FDM printer of the Department of Mechanical Engineering and Manufacturing. The material used is a PLA (polylactic acid). The final pieces include post-treatment operations to improve their surface characteristics.

The project includes a detailed analysis of the difficulties encountered in the manufacture of various elements as well as the Solutions adopted in each of them. The final evaluation of the manufactured support allows to conclude that the obtained benefits are similar to other similar supports present in the market.

... -translation by google-

Índice

Resumen	9
Abstract	11
Índice	13
Índice de Tablas	15
Índice de Figuras	17
1 Introducción	1
1.1 Descripción del trabajo	2
1.2 Estructura del documento	4
2 Introducción a la fabricación aditiva	5
2.1 Historia	5
2.2 Ventajas	6
2.3 Limitaciones	9
2.4 Tecnologías y materiales	10
2.5 Actualidad, aplicaciones futuras y sectores	12
2.5.1 Actualidad y aplicaciones futuras	12
2.5.2 Sectores	14
3 Impresión por deposición de fundido	17
3.1 Fases	17
3.2 Tecnología	19
3.3 Material	19
3.3.1 Propiedades	20
3.4 Aplicaciones informáticas	22
3.5 Impresora 3D	23
3.5.1 Mantenimiento	23
3.5.2 Protocolo	24
4 Diseño del soporte	27
4.1 Evolución del diseño	27
4.1.1 Mejora en el diseño.	29
4.2 Desarrollo de piezas	32
4.2.1 Carcasa	32
4.2.2 Pieza dentada	37
4.2.3 Guías 1	42
4.2.4 Guías 2	43
4.2.5 Semibola	43
4.2.6 Sujeción bici	44

4.2.7	Adaptador	46
4.2.8	Barra 1	47
4.2.9	Barra 2	48
4.2.10	Pie del soporte para el coche	49
4.2.11	Fijar 1	49
4.2.12	Fijar 2	50
4.2.13	Fijar 3	51
4.2.14	Fijar 4	52
4.2.15	Fijar 5	53
4.3	<i>Ensamblaje Catia</i>	54
4.4	<i>Simulación Catia</i>	60
4.5	<i>Listado de piezas</i>	62
5	Fabricación del soporte	64
5.1	<i>Parámetros Cura</i>	64
5.2	<i>Fabricación</i>	69
5.2.1	Impresora 3D	69
5.2.2	Puesta en marcha de la impresora 3D	70
5.2.3	Fabricación de piezas	73
6	Evaluación del soporte	93
6.1	<i>Montaje y pruebas del soporte para el móvil</i>	93
7	Conclusiones	98
7.1	<i>Mejoras futuras</i>	98
7.2	<i>Conclusiones</i>	100
Anexo 1: Software		102
Anexo 2: Defectos de Impresión		120
Anexo 3: Planos		134
Bibliografía		153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Tecnologías fabricación aditiva [C-1].	11
Tabla 3-1: Propiedades del PLA y ABS [C-2].	21
Tabla 4-1: Relaciones ancho/largo de diferentes móviles.	31
Tabla 4-2: Ángulos equivalentes. Relieves en la carcasa inferior.	34
Tabla 4-3: Listado de piezas	62
Tabla 5-1: Configuración CURA.	65
Tabla 5-2: Reducción de tiempo.	67
Tabla A-1: Calidad. Configuración básica.	108
Tabla A-2: Relleno. Configuración básica.	109
Tabla A-3: Velocidad. Configuración básica.	109
Tabla A-4: Soporte. Configuración básica.	110
Tabla A-5: Filamento. Configuración básica.	110
Tabla A-6: Máquina. Configuración avanzada.	111
Tabla A-7: Retracción. Configuración avanzada.	111
Tabla A-8: Calidad. Configuración avanzada.	111
Tabla A-9: Velocidad. Configuración avanzada.	112
Tabla A-10: Ventilación. Configuración avanzada.	112
Tabla A-11: Retracción. Configuración experta.	113
Tabla A-12: Skirt. Configuración experta.	113
Tabla A-13: Ventilación. Configuración experta.	114
Tabla A-14: Relleno. Configuración experta.	114
Tabla A-15: Soportes. Configuración experta.	115
Tabla A-16: Black magic. Configuración experta.	115
Tabla A-17: Brim Configuración experta.	115
Tabla A-18: Raft. Configuración experta.	116
Tabla A-19: Significado de la primera letra del código.	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Fabricación aditiva VS convencional [F-1].	1
Figura 1-2: Fabricación partiendo de un modelo virtual [F-2].	2
Figura 1-3: Soporte original.	3
Figura 1-4: Laboratorios de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería.	3
Figura 2-1: Evolución histórica [F-3].	5
Figura 2-2: Riñón [4]	6
Figura 2-3: Implante mandíbula [4].	6
Figura 2-4: Costes frente a complejidad geométrica [F-4].	7
Figura 2-5: Gráfica comparativa de métodos en diferentes parámetros [9].	7
Figura 2-6: Impacto económico de la impresión. 3D en la producción de bienes [F-5]	8
Figura 2-7: Máquina híbrida Vs convencional [F-6].	9
Figura 2-8: Coste unitario Vs volumen de producción [1]	9
Figura 2-9: Costes Vs volumen de producción [1].	9
Figura 2-10: Costes frente a volumen de producción [F-7].	10
Figura 2-11: Reducción del tiempo.	12
Figura 2-12: Tecnología CLIP.	12
Figura 2-13: Proyecto Aeroswift.	13
Figura 2-14: Nueva tecnología patentada por Boeing.	14
Figura 2-15: Big Delta	14
Figura 2-16: Prótesis [4].	15
Figura 2-17: Rake de instrumentación.	15
Figura 2-18: Avión no tripulado utilizando fabricación aditiva [29].	16
Figura 2-19: Vectary, software más desarrollado en los últimos meses. [31]	16
Figura 3-1: Conversión STL. Triangulación de superficies [2].	17
Figura 3-2: Piezas más soportes [2].	18
Figura 3-3: Fases de fabricación [3].	18
Figura 3-4: Modelado por deposición fundida [4].	19
Figura 3-5: Estructura del PLA. [F-8]	19

Figura 3-6: Proceso de obtención del PLA [32].	20
Figura 3-7: Comparativa de materiales [F-9].	20
Figura 3-8: Tabla de temperaturas [F-9].	20
Figura 3-9: Filaflex.	22
Figura 3-10: Impresoras 3D doméstica [F-10].	23
Figura 3-11: Patrón de calibración.	24
Figura 3-12: Protocolo.	26
Figura 4-1: Primer diseño. Interior dela carcasa.	27
Figura 4-2: Diseño final. Interior de la carcasa.	28
Figura 4-3: Ensamblaje del primer diseño.	28
Figura 4-4: Ensamblaje del diseño final. Rojo: Tornillo Verde: Tuerca	29
Figura 4-5: Dimensiones mínimas y máximas.	30
Figura 4-6: Rediseño de la carcasa inferior.	31
Figura 4-7: Carcasa superior.	32
Figura 4-8: Carcasa inferior.	33
Figura 4-9: Relieves de la carcasa inferior.	33
Figura 4-10: Pincho	34
Figura 4-11: Logos diseñados en la carcasa superior.	34
Figura 4-12: Reparación STL de la carcasa superior.	35
Figura 4-13: Posición de fabricación de la carcasa. Cura	35
Figura 4-14: Posición de la carcasa antigua.	35
Figura 4-15: Otra posición. Cura	36
Figura 4-16: Comparación del posicionamiento de la carcasa superior.	36
Figura 4-17: Otra perspectiva de fabricación.	36
Figura 4-18: Pieza dentada.	37
Figura 4-19: Condición de engrane de dos perfiles de dientes.	38
Figura 4-20: Módulos normalizados.	39
Figura 4-21: Diseño rueda dentada.	39
Figura 4-22: Engranaje cremallera.	39
Figura 4-23: Boceto del diente de la pieza dentada.	40
Figura 4-24: Zoom engranaje.	41
Figura 4-25: Reparación STL de la pieza dentada.	41
Figura 4-26: Posición de fabricación de la pieza dentada. Cura.	41
Figura 4-27: Guías 1	42
Figura 4-28: Posición de fabricación de guías 1.	42
Figura 4-29: Guías 2.	43
Figura 4-30: Posición guías 2. Cura	43
Figura 4-31: Semibola. Dos posibles opciones.	43
Figura 4-32: Posición de fabricación de la semibola y visión de rayos X. Cura.	44

Figura 4-33: Sujeción bici.	44
Figura 4-34: Lámina con material gomoso, o alta deformación.	45
Figura 4-35: Reparación STL de la sujeción a la bici.	45
Figura 4-36: Diferentes posiciones sujeción. Cura. Elección: Imagen de la izquierda.	45
Figura 4-37: Verificación de la inclinación con la que se fabrica la gota de agua.	46
Figura 4-38: Adaptador.	47
Figura 4-39: Posición de fabricación del adaptador y vista de los salientes. Cura.	47
Figura 4-40: Barras 1.	47
Figura 4-41: Posición de fabricación de la barra 1. Cura	48
Figura 4-42: Barras 2.	48
Figura 4-43: Posición de fabricación de la barra 2. Cura.	48
Figura 4-44: Pie soporte del coche.	49
Figura 4-45: Posición de fabricación del pie del soporte para el coche y vistas de capas. Cura.	49
Figura 4-46: Fijar 1	49
Figura 4-47: Posición de fabricación de fijar 1 con diferentes vistas. Cura.	50
Figura 4-48: Fijar 2.	50
Figura 4-49: Posición de fabricación de fijar 2 y diferentes vistas. Cura.	51
Figura 4-50: Fijar 3.	51
Figura 4-51: Reparación del STL de fijar 3.	51
Figura 4-52: Posición de fabricación de fijar 3 y diferentes vistas. Cura.	52
Figura 4-53: Fijar 4.	52
Figura 4-54: Posición de fabricación de la pieza fijar 4 y diferentes vistas. Cura.	52
Figura 4-55: Fijar 5	53
Figura 4-56: Posición de fabricación de fijar 5 y diferentes vistas. Cura.	53
Figura 4-57: Interior carcasa (sin guías).	54
Figura 4-58: Engranaje. Interior carcasa.	54
Figura 4-59: Interior carcasa. Otra perspectiva.	55
Figura 4-60: Ensamblaje carcasa superior.	56
Figura 4-61: Ensamblaje carcasa superior. De frente.	56
Figura 4-62: Conjunto para fijar, o girar, el engranaje.	56
Figura 4-63: Fijando el engranaje (1).	57
Figura 4-64: Fijando el engranaje (2).	57
Figura 4-65: Conjunto para rotar 360° el móvil.	58
Figura 4-66: Colocando el conjunto de giro en el resto del ensamblaje.	58
Figura 4-67: Detalle de la semibola con la carcasa.	58
Figura 4-68: Posibilidad de lograr pequeños giros.	59
Figura 4-69: Holgura vista desde arriba.	59
Figura 4-70: Ensamblaje del adaptador al coche	59
Figura 4-71: Producto complejo ensamblado.	60

Figura 4-72: Simulación. Pequeño error detectado.	60
Figura 4-73: Simulación del engranaje.	61
Figura 4-74: Simulación de los giros.	61
Figura 5-1: Densidad de relleno.	66
Figura 5-2: Diferentes configuraciones en cura.	66
Figura 5-3: Configuración experta en cura.	69
Figura 5-4: Impresoras 3D de los laboratorios de la ETSI.	69
Figura 5-5: Valores de las características de la máquina en cura.	70
Figura 5-6: Pantalla impresora 3D.	70
Figura 5-7: Pantalla de información inicial y principal.	71
Figura 5-8: Pantalla para calentar extrusor y cama, según material.	71
Figura 5-9: Espera durante el calentamiento de extrusor y cama.	71
Figura 5-10: Tarjeta SD.	71
Figura 5-11: Mover ejes.	72
Figura 5-12: Extrusión.	72
Figura 5-13: Enfriar impresora.	73
Figura 5-14: Pruebas para el ensamblaje de la carcasa.	73
Figura 5-15: Primera prueba	73
Figura 5-16: Modificaciones prueba.	74
Figura 5-17: Verificar pruebas. Izquierda: Separación fácil. Derecha: No puede separarse.	74
Figura 5-18: Más modificaciones.	74
Figura 5-19: Prueba final: Prueba final.	74
Figura 5-20: Pieza dentada.	75
Figura 5-21: Comparación fabricación pieza dentada. Izquierda: Sin offset Derecha: Con offset.	75
Figura 5-22: Fabricación de la primera guía.	75
Figura 5-23: Pieza dentada, fijar 4 y fijar 5.	76
Figura 5-24: Primeras capas de la carcasa inferior.	76
Figura 5-25: Impresión de la carcasa inferior.	76
Figura 5-26: Finalizada impresión de la carcasa inferior.	76
Figura 5-27: Retirar material de apoyo. Carcasa inferior.	77
Figura 5-28: Pieza dentada modificada.	77
Figura 5-29: Modificaciones del conjunto que forma el engranaje.	77
Figura 5-30: Fabricación guías	78
Figura 5-31: Guías.	78
Figura 5-32: Fijar 3 y Semibola.	78
Figura 5-33: Fabricación carcasa superior.	79
Figura 5-34: Carcasa superior.	79
Figura 5-35: Primer montaje. Soporte para el móvil. De frente.	80
Figura 5-36: Primer montaje. Soporte para el móvil. Parte de atrás.	80

Figura 5-37: Carcasa superior tras ensamblaje. Una de las pestañas se ha roto.	81
Figura 5-38: Fabricación nueva carcasa superior.	81
Figura 5-39: Nuevo diseño de la carcasa superior.	82
Figura 5-40: Retirar material de apoyo de la nueva carcasa superior.	82
Figura 5-41: Comparación carcacas superiores. Parte interna.	82
Figura 5-42: Comparación carcacas superiores. Parte externa.	83
Figura 5-43: Pinchos para ensamblar la carcasa.	83
Figura 5-44: Comparación configuración del soporte.	84
Figura 5-45: Nuevo diseño carcasa inferior.	84
Figura 5-46: Comparación entre las carcacas inferiores. En medio, la carcasa superior.	84
Figura 5-47: Dremel.	85
Figura 5-48: Herramientas para la dremel.	85
Figura 5-49: Carcacas a medio mecanizar.	86
Figura 5-50: Fabricación sujeción móvil. Primer intento.	86
Figura 5-51: Sujeción móvil. Primer intento.	87
Figura 5-52: Fabricación sujeción bici. Segundo intento.	87
Figura 5-53: Sujeción bici. Segundo intento.	88
Figura 5-54: Sujeción bici. Tercer intento.	88
Figura 5-55: Post-tratamiento. Taladro en algunas piezas.	89
Figura 5-56: Ajuste longitud.	89
Figura 5-57: Varias piezas con los tornillos.	89
Figura 5-58: Adhesivo.	89
Figura 5-59: Semibola 2.	90
Figura 5-60: Diferentes opciones de fijar.	90
Figura 5-61: Piezas con rosca.	90
Figura 5-62: Primera opción.	91
Figura 5-63: Solución parcial a la limitación de fijar 2.	92
Figura 6-1: Montaje del soporte (1).	93
Figura 6-2: Montaje del soporte (2).	93
Figura 6-3: Prueba de diferentes móviles.	94
Figura 6-4: Verificación del soporte con el Samsung Galaxy S2.	94
Figura 6-5: Prueba de sujeción en la bici.	95
Figura 6-6: Prueba del soporte sin el móvil.	95
Figura 6-7: Separación entre carcasa y las piezas que bloquean la pieza dentada	96
Figura 6-8: Pruebas del soporte con el móvil.	96
Figura 6-9: Pruebas en caminos de tierra.	97
Figura 6-10: Rotura de la pieza.	97
Figura 7-1: Fijar 2. Otro posible diseño.	98
Figura 7-2: Mejora de fijar 2.	98

Figura 7-3: Pieza dentada. Otro diseño.	99
Figura 7-4: Mejoras realizada al soporte.	99
Figura 7-5: Más mejoras.	99
Figura A-1: Ejemplo de agujeros en forma de gota de agua.	102
Figura A-2: Inclinação con ángulo crítico, menor (izq) o mayor (der).	103
Figura A-3: Modificación diseño	103
Figura A-4: Corel Draw	104
Figura A-5: Error	105
Figura A-6: Reparar	105
Figura A-7: Reparación pieza de forma manual.	105
Figura A-8: Barra de herramientas.	106
Figura A-9: Ajustes de la máquina.	106
Figura A-10: Ajustes rápidos.	107
Figura A-11: Ajustes expertos	113
Figura A-12: Fix horrible. Configuración experta.	116
Figura A-13: Iconos del área de impresión.	119
Figura B-1: Desplazamiento de capa 1.	120
Figura B-2: Desplazamiento de capa 2.	120
Figura B-3: Deformación de capas.	121
Figura B-4: Warping 1.	121
Figura B-5: Warping 2.	122
Figura B-6: Base curvada.	122
Figura B-7: Perdida de la forma.	123
Figura B-8: Delaminación 1.	123
Figura B-9: Delaminación 2.	124
Figura B-10: Hendiduras de capas.	124
Figura B-11: Falta de plástico.	125
Figura B-12: Pieza inacabada.	126
Figura B-13: Hilos separados.	127
Figura B-14: Hilos solapados.	127
Figura B-15: Pillowing.	128
Figura B-16: Encordado.	128
Figura B-17: Voladizos.	129
Figura B-18: Subextrusión.	129
Figura B-19: Subextrusión y combing.	131
Figura B-20: Grinding.	132
Figura B-21: Arañazos en la pieza	132
Figura B-22: Capas aleatorias.	133
Figura B-23: Impresión peluda.	133

Figura B-24: Burbujas.	133
Figura C-1: Plano carcasa inferior. Plano 1.	135
Figura C-2: Plano carcasa inferior. Plano 2.	136
Figura C-3: Plano de la carcasa superior.	137
Figura C-4: Planos pincho de ensamblaje de la carcasa.	138
Figura C-5: Plano de la Pieza dentada.	139
Figura C-6: Plano de la guía 1.	140
Figura C-7: Plano de la guía 2	141
Figura C-8: Plano de la semibola.	142
Figura C-9: Plano de la sujeción a la bici.	143
Figura C-10: Plano del adaptador.	144
Figura C-11: Plano de la barra 1.	145
Figura C-12: Plano de la barra 2.	146
Figura C-13: Plano del pie del soporte para el coche.	147
Figura C-14: Plano de fijar 1.	148
Figura C-15: Plano de fijar 2.	149
Figura C-16: Plano de fijar 3.	150
Figura C-17: Plano de fijar 4.	151
Figura C-18: Plano de fijar 5.	152

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se está viviendo tiempos de transición hacia una era digital que afecta en distintos ámbitos de la vida, tanto el personal como el profesional.

Todos estos grandes avances han dado la posibilidad de mejorar notablemente la eficacia, desarrollar o renovar los diferentes procesos en las industrias e incluso mejorar la calidad de vida. Los ejemplos de esta revolución son infinitos,

- Planos de papel dibujados a mano a ficheros paramétricos.
- Del correo postal pasó al fax hasta llegar al correo electrónico.
- Televisión en blanco y negro de 2 canales a la actual.
- Juegos tradicionales hasta alcanzar el videojuego en realidad aumentado.
- Grandes avances en todos los sectores.
- etc...

Sin embargo, los procesos de fabricación seguían siendo los mismos, aunque estos eran asistidos por controles más avanzados que permitieron una mejora general en las calidades de las piezas fabricadas.

Arranque de viruta, conformado o fundición son algunos de los procesos de fabricación actuales y, pese al avance tecnológico, presentan varias limitaciones. La capacidad de procesar una gran cantidad de datos a alta velocidad ha permitido superar los límites de fiabilidad y precisión pero, continúa existiendo limitaciones físicas como las colisiones de herramientas en piezas complejas, realizar taladros curvos o restricciones de ángulos de desmoldeo, entre otras [1].

Actualmente, se está desarrollando otro proceso de fabricación aunque, aún necesita tiempo para asentarse de forma general en el mercado. Esta nueva forma de fabricar pretende subsanar las limitaciones que presentan los métodos más tradicionales dando la posibilidad de lograr piezas con una mayor complejidad geométrica, barrera actual al desarrollo de nuevos productos de alto valor añadido o con nuevas funcionalidades. Por tanto, lo que ofrece la fabricación aditiva puede llegar a ser un gran complemento a las técnicas convencionales, motivo por el cual las empresas están apostando cada vez más por estas tecnologías.

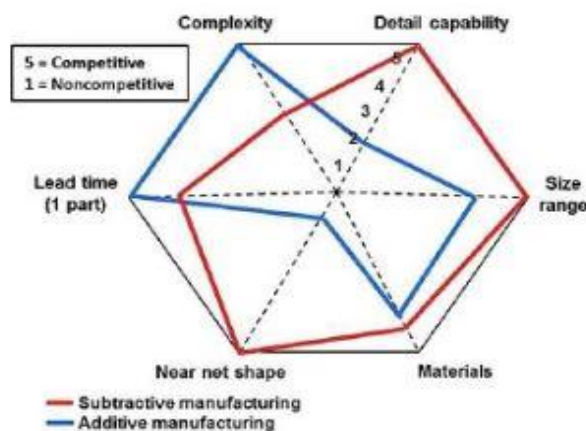


Figura 1-1: Fabricación aditiva VS convencional [F-1].

Así, pueden clasificarse los procesos de fabricación de piezas de la siguiente forma [1]:

- **Tecnologías conformativas:** Utilizan preformas para obtener la geometría requerida (inyección plástico y metales, colada al vacío, etc.).
- **Tecnologías sustractivas:** Obtienen la geometría requerida sustrayendo material de un bloque mayor (mecanizado, electroerosión, corte por agua y corte por láser).
- **Tecnologías aditivas (AM):** Obtienen la geometría añadiendo material a partir de geometría virtual, sin uso de preformas (conformativas) y sin eliminar material (sustractivas).

Este trabajo está centrado en **la fabricación aditiva**, esta se puede definir como una serie de tecnologías capaces de producir objetos tridimensionales partiendo de un modelo digital mediante la deposición de material, de manera precisa. Una característica de este tipo de tecnologías es que no requiere un utillaje especializado durante el proceso de fabricación [2].

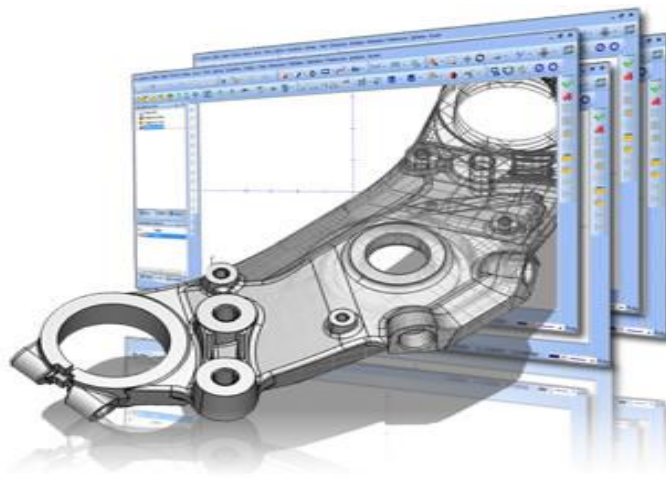


Figura 1-2: Fabricación partiendo de un modelo virtual [F-2].

Según la **norma ISO 17296-2** existen varios **procesos de Fabricación Aditiva** que se clasifican en 7 grandes familias [3]:

- ✓ Polimerización de una resina como la Estereolitografía (SLA).
- ✓ Inyección de material (Material Jetting) como Polyjet, MJM.
- ✓ Inyección por aglutinante (Binder Jetting) como 3DP-Impresión 3D, ExOne.
- ✓ Fusión de leche de polvo como la Sinterización selectiva por láser SLS.
- ✓ Depósito de materia como el CLAD, DMD Deposición Directa de Metal.
- ✓ Extrusión de material como el Fused Deposition Modelling FDM.
- ✓ Laminado de hojas o de placas como la STRATOCONCEPTION, LOM.

Por lo tanto, hay una gran variedad de **tecnologías de Fabricación Aditiva** cada una con sus características, sus ventajas y sus limitaciones.

1.1 Descripción del trabajo

El objetivo de este proyecto es realizar un breve estudio sobre un proceso de fabricación novedoso, como lo es la fabricación aditiva.

Fijada la materia del proyecto, fabricación aditiva y aplicación, faltaba por definir la pieza que iba a fabricarse

para la práctica. Tras barajar diferentes opciones se optó por la fabricación de un soporte ajustable para el móvil.

El soporte es un producto ya existente, fabricado mediante inyección de plástico, y se pretende recrear mediante la fabricación aditiva. El modelo global es el mismo, aunque se realizarán algunos cambios en el diseño. Se realizará cambios estéticos, otros métodos de ensamblaje con el fin de estudiar otras posibilidades o modificaciones en las zonas del diseño donde no es posible su fabricación. En definitiva, se adquiere únicamente el concepto, con total libertad para realizar las modificaciones oportunas.



Figura 1-3: Soporte original.

En los laboratorios de la Universidad de Sevilla hay habilitada una zona con escáner, impresoras 3D, materiales, herramientas para realizar post-tratamiento, entre otros. Al definir el proyecto y realizar el diseño, nos cedieron dicha para la realización de este.



Figura 1-4: Laboratorios de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería.

La razón por la cual se decidió realizar el soporte fue porque se buscaba un producto que tuviera alguna utilidad práctica y que, además, se pudiese testear fácilmente una vez finalizada todo el proceso. Además, en general, es un producto bastante completo para obtener conclusiones sobre este tema ya que se trata de un producto que tiene mecanismos, necesita post-tratamiento, y muestra una cierta dificultad en el ensamblaje debido a la precisión dimensional de la máquina, las tolerancias al diseñar toman un papel importante.

El material utilizado es PLA y la fabricación se ha realizado mediante la tecnología FDM, modelado por deposición fundida.

En este proyecto solo existe un objetivo, que todas las piezas finales fabricadas sean capaz de realizar la función para la que haya sido diseñada.

1.2 Estructura del documento

El documento se estructura en siete capítulos y tres anexos.

El primer capítulo es muy global, se comenta de manera muy breve los diferentes procesos de fabricación y se realiza una pequeña comparación con la fabricación aditiva. Además se proporciona una descripción del proyecto y de los objetivos.

El segundo capítulo se centra en la fabricación aditiva. Se documenta algunos hitos en su historia, las ventajas y limitaciones, la influencia en diferentes sectores, incluyendo varios ejemplos actuales y futuros. También se presenta, brevemente, algunas de las tecnologías y materiales.

El tercer capítulo se especifica en mayor medida sobre las fases de la fabricación, la tecnología y materiales que se van a utilizar en el proyecto e introduce las impresoras domésticas, así como la puesta en marcha y el mantenimiento para mejorar sus prestaciones y alargar su vida útil. En el caso del material se realizan alguna comparación con otros materiales.

Los próximos tres capítulos tratan sobre la aplicación práctica del proyecto, el soporte para el móvil. En esta se define cada una de las fases de la fabricación expuestas en el artículo anterior en forma teórica. También se concreta la impresora que se va a utilizar, dimensiones y la puesta en marcha, de forma visual y sencilla, basada en el protocolo del capítulo anterior.

- Cuarto capítulo: **Diseño del soporte**. Definición de cada una de las piezas finales por separado y ensambladas. También se muestra la evolución del diseño a lo largo del proyecto, o el posicionamiento en cura, entre otros.
- Quinto capítulo: **Fabricación del soporte**. El siguiente paso tras el diseño, se muestra la configuración en cura y cada una de las piezas fabricadas así como los problemas o complicaciones encontradas en el proceso y las soluciones adoptadas para intentar resolverlas. Se documenta todas las piezas fabricadas, incluso las no válidas. También se documenta el post-tratamiento.
- Sexto capítulo: **Evaluación del soporte**. Se explica cómo se ensambla las piezas de forma breve y se comenta los resultados obtenidos tras realizar algunas pruebas al soporte en una bici.

El séptimo capítulo expone las conclusiones que se han obtenido del proyecto, las cosas a mejorar y se realiza una comparación entre la carcasa original y la fabricada.

El *anexo 1* se explica de forma más detallada cada uno de los programas utilizados.

- **Catia**: No es una guía sobre como diseñar. Da recomendaciones y consejos a la hora de diseñar, pensando en la fabricación aditiva.
- **Corel draw**: Se muestra el proceso para vectorizar una imagen y utilizarla en Catia.
- **Netfabb**: Guía básica de cómo utilizar el programa.
- **Cura**: Guía para utilizar cura. Se define cada uno de los parámetros y algunas orientaciones.

En el *anexo 2* muestra posibles defectos de fabricación que se pueden llegar a dar y las probables soluciones a estos.

En el *anexo 3* se muestra los planos de cada una de las piezas diseñadas.

2 INTRODUCCIÓN A LA FABRICACIÓN ADITIVA

2.1 Historia

Hace ya más de tres décadas que dio origen este nuevo concepto de fabricación con el invento de Charles Hull en 1984, la estereolitografía (SLA), aunque este no sería patentado hasta 1986 cuando Charles Hull crea la empresa 3D Systems.

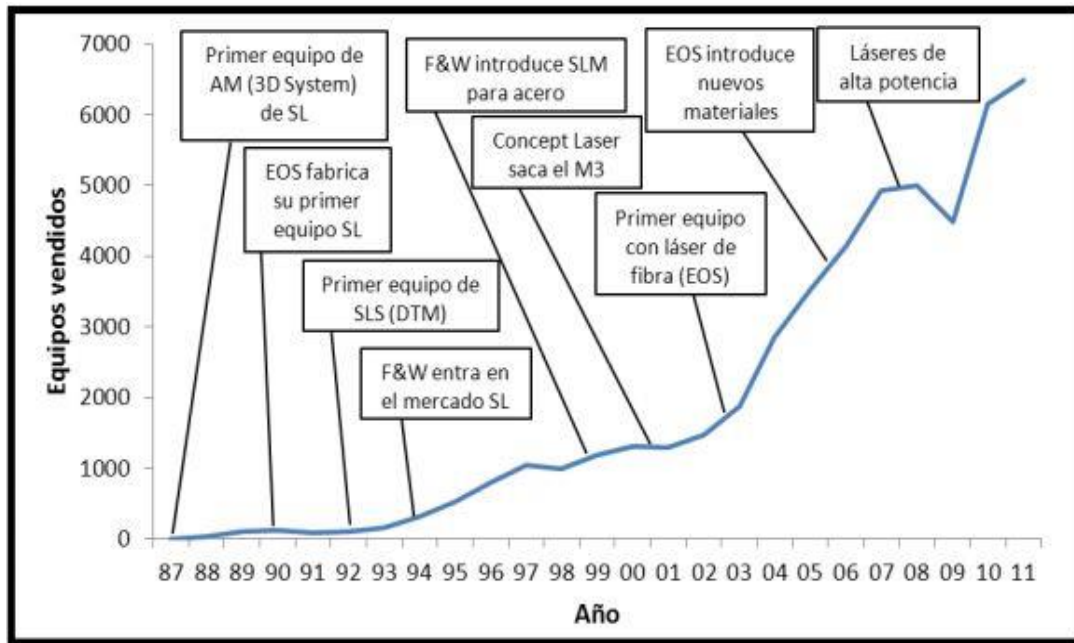


Figura 2-1: Evolución histórica [F-3].

Inicialmente fue creado para la realización de prototipos ya que no se llegaba a cumplir los requisitos mínimos para ser una pieza funcional, en consecuencia, el proceso de fabricación adquirió el nombre de prototipado rápido. Debido al coste de la máquina y al uso limitado no tuvo un impacto fuerte en el mercado, siendo los principales sectores el médico y el aeroespacial.

En 1987, Carl Deckard desarrolla una nueva tecnología denominada SLS cuya primera máquina fue comercializada en 1992.

En 1988, Scott Crump inventa el modelado por deposición fundida (FDM). Que no sería patentado hasta unos años más tarde. La comercialización de esta máquina se produjo en 1991.

En 1990, una empresa alemana desarrolla el sistema “Stereos”.

Estos nuevos avances no pasarían desapercibidos. A lo largo de los noventa, se fundarían diferentes empresas dedicadas a estas nuevas y prometedoras tecnologías.

Desde entonces, la fabricación aditiva se ha encontrado en continua evolución, emergiendo diferentes tecnologías y superando sus logros iniciales.



Figura 2-2: Riñón [4]

En 1999, el instituto de medicina regenerativa de la universidad de Wake Forrest implanta los primeros órganos modificados por medio de implantes arteriales impreso en 3D y cubiertos con células del paciente. En 2002, logran la impresión de un riñón en miniatura completamente funcional, este era capaz de filtrar sangre y producir orina.

En 2000, se introduce la tecnología SLM por MCP technologies.

En 2009 se empieza a comercializar impresoras para uso personal. En esta nueva categoría se ha obtenido una tendencia de crecimiento espectacular, donde las ventas de equipos han crecido un 105% en 2013 respecto al año anterior [6].

En 2011, se comienza a crear impresoras 3D para alimentos y se fabrica el primer avión no tripulado. La actividad no cesa en los años posteriores donde se realiza el primer implante de mandíbula, producción de componentes, además de nuevas tecnologías y tipos de impresoras, como la enviada por la NASA a la ISS capaz de fabricar en gravedad cero en 2014, entre otros.



Figura 2-3: Implante mandíbula [4].

En la actualidad, el nombre inicial de prototipado rápido ha quedado en desuso debido a los grandes avances en estas tres décadas de investigación y desarrollo. Ya no solo es capaz de fabricar prototipos sino que puede fabricar piezas funcionales y con un alto valor añadido, siendo capaz de competir y/o complementar a otros métodos más tradicionales.

2.2 Ventajas

Las características principales que lo hace destacar de otras alternativas posibles son las siguientes [7]:

1. La complejidad geométrica.

Una mayor complejidad no produce un mayor coste como es habitual en los tipos de fabricación actuales. En estos casos, los métodos convencionales están limitados cuya solución es resolver este problema por aproximaciones, ensamblajes o por medios de procesos de muy alto coste [1].

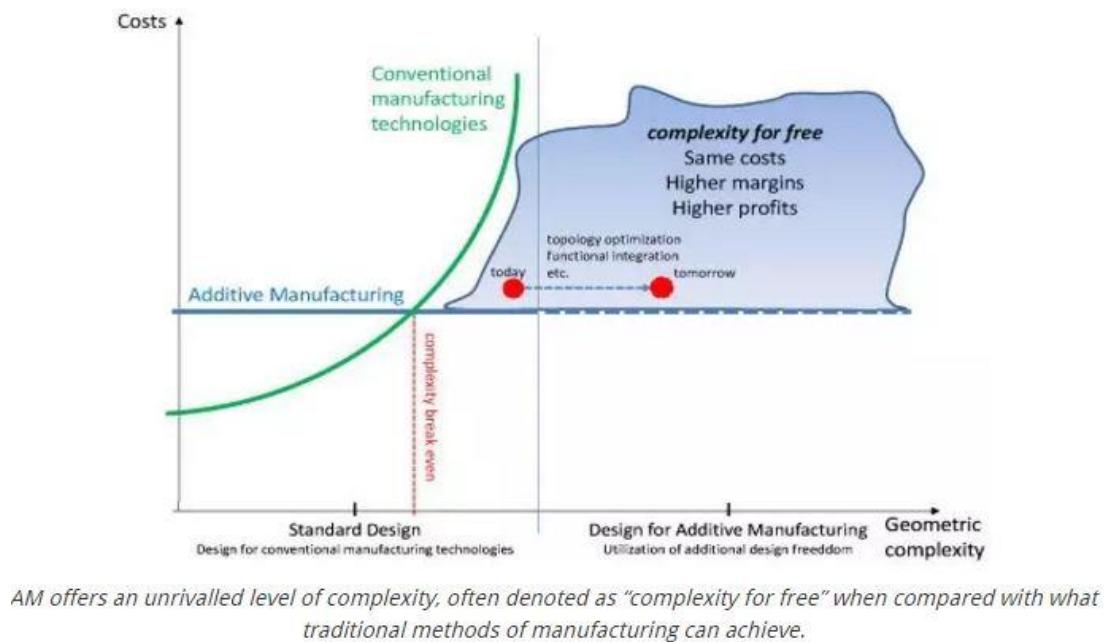


Figura 2-4: Costes frente a complejidad geométrica [F-4].

2. La personalización no encarece el proceso.

Personalización de productos con una total flexibilidad en el diseño y construcción. Se pueden producir piezas de prácticamente cualquier forma y sin casi limitaciones geométricas. Un ejemplo claro es la fabricación de implantes o prótesis adaptados a las particularidades de cada paciente [8].

La diferencia entre la tecnología convencional y aditiva se puede ver en la siguiente imagen.

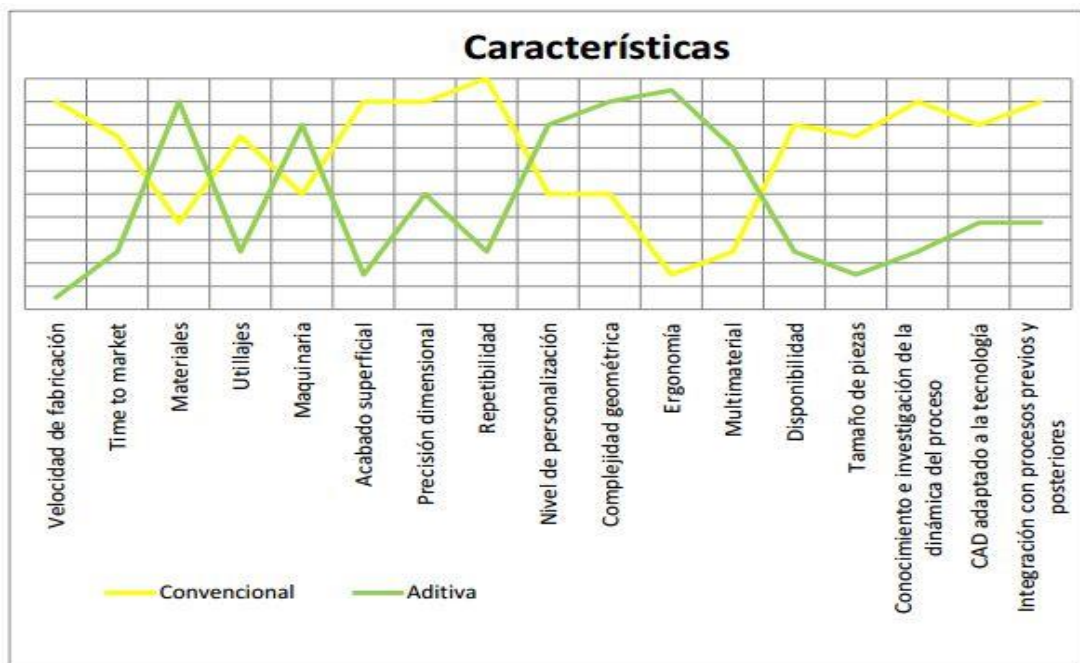


Figura 2-5: Gráfica comparativa de métodos en diferentes parámetros [9].

Por tanto, se puede deducir que existen ciertas condiciones para que la fabricación aditiva sea más eficiente que otras alternativas. En general las condiciones que favorecen o ayuda a decidimos por la fabricación aditiva son [10]:

- Creación de un prototipo o primera pieza para su validación.
- Fabricación de una pieza única o tiradas muy bajas.
- Fabricación de piezas extremadamente complejas.

En caso contrario, las ventajas se ven reducidas y la fabricación aditiva pierde efectividad. Estos casos se pueden dar cuando se requiere una tirada medio/alta u obtener una pieza con un acabado superficial y/o tolerancia altos. A pesar de la notable mejoría en la calidad de la pieza en los últimos años, sigue estando niveles inferiores a otros procesos alternativos, como el mecanizado.

Como ya se mencionó, la obtención de piezas con una gran complejidad geométrica es uno de los puntos fuertes, ya no solo porque se logra una pieza compleja sin elevar en exceso el coste sino que, además, puede lograr una reducción de peso importante.

Esto es una gran ventaja ya que se está dando la posibilidad de replicar exactamente modelos teóricos de ingeniería, sin las aproximaciones que imponen los métodos sustractivos o conformativos. Además la libertad geométrica que proporciona este método hace posible la adaptación de las formas a la biomecánica humana.

Fabricar la pieza desde cero junto a no tener repercusión la complejidad geométrica hace posible crear el producto por medio de estructuras o jugar con las densidades, aligerando las zonas menos solicitadas, y alcanzando una notable reducción de peso. La reducción de peso se aprecia principalmente cuando se trabaja con metal y puede resultar un gran avance. Por ejemplo, en el sector aeroespacial, disminuir el peso permitirá una reducción combustible consumido considerable.

Crear estructuras en el interior no solo es útil para reducir el peso o material, sino que también se pueden obtener otros usos, por ejemplo para crear un canal de refrigeración en los moldes muy complejos aprovechando la libertad geométrica.

Algunas tecnologías de fabricación no solo pueden crear un gradiente de porosidad en la pieza, aligerando las zonas que el diseñador estima que van a estar menos solicitadas, sino que pueden aportar simultáneamente varios materiales en un mismo sólido. La libertad geométrica y la posibilidad de utilizar diferentes materiales, hacen posible una reducción de puntos de unión, debido a que un conjunto puede fabricarse en un menor número de piezas o, incluso, en una única pieza. El problema de ajustes en ensamblaje o errores de montaje, así como errores durante el ciclo de producción, se reducen y, por tanto, también los gastos que conllevan.

Debido a la cantidad de productos a fabricar, lo siguiente puede llegar a ser una ventaja o no. La fabricación aditiva es eficiente cuando se habla de una partida pequeña de productos. Es muy útil para fabricar prototipos, gracias a esto se han llegado a acelerar la salida al mercado de un nuevo producto y reducir el riesgo de fracaso, aunque la fabricación en serie fuese por el método convencional.

Que la fabricación sea eficiente para partidas pequeñas se debe en parte a que no se requiere utillaje. Esto es una gran ventaja ya que logra una reducción de costes y procesos intermedios. Otro ahorro importante es en la cantidad de material, el desperdicio en las técnicas sustractivas son mucho mayores que en la fabricación aditiva que, a pesar de ser un material más caro, puede llegar a costar más barato en ciertas ocasiones. Existen estudios donde se concluye que es posible reducir hasta en un 40% el volumen de material en bruto [8].

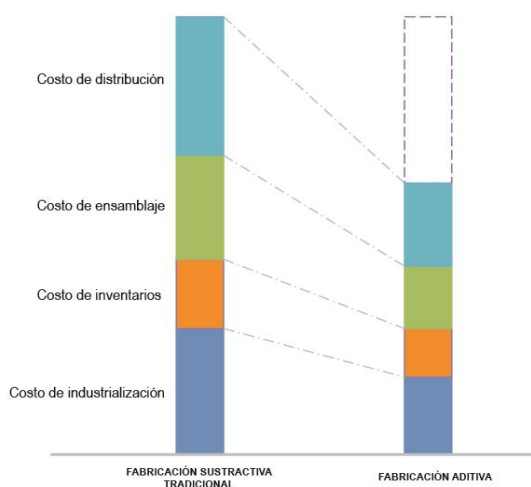


Figura 2-6: Impacto económico de la impresión. 3D en la producción de bienes [F-5]

La fabricación aditiva no se ha desarrollado para sustituir a las alternativas existentes sino para complementarlas. De hecho, ya existe en el mercado máquinas híbridas para adquirir las ventajas de ambos métodos. Por ejemplo, realizar la pieza mediante fabricación aditiva y mejorar el acabado superficial mediante el mecanizado o, en la otra dirección, utilizar métodos sustractivos para fabricar la pieza base y, mediante la fabricación aditiva, añadirle las características más complejas. Ya existen en el mercado máquinas híbridas

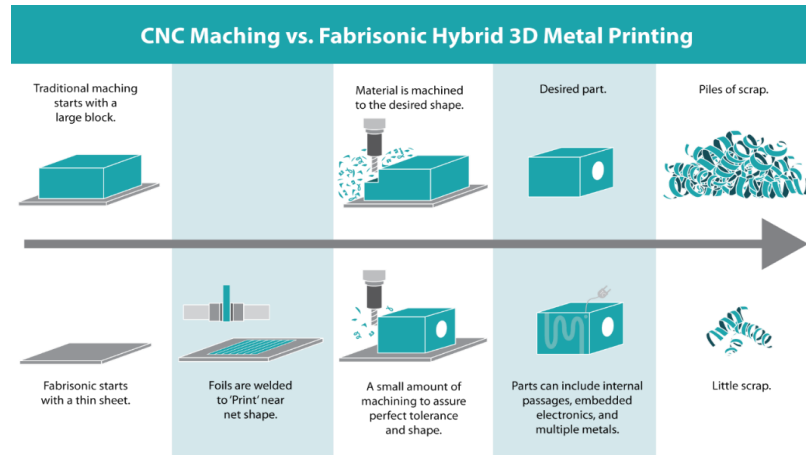


Figura 2-7: Máquina híbrida Vs convencional [F-6].

2.3 Limitaciones

La fabricación aditiva es aún una tecnología relativamente nueva y en continua evolución. Existen varias limitaciones que hacen que muchas empresas no hayan apostado aún por este método.

En primer lugar, se encuentra la disponibilidad y el coste de los materiales. La gama de material disponible es aún muy inferior respecto a las otras alternativas y, además, el coste también lo supera notablemente.

Por otra parte, hay que contar la inversión inicial de una máquina, cuyo precio es bastante elevado. Además, la velocidad de producción es baja, por tanto, no es recomendable para producir grandes cantidades.

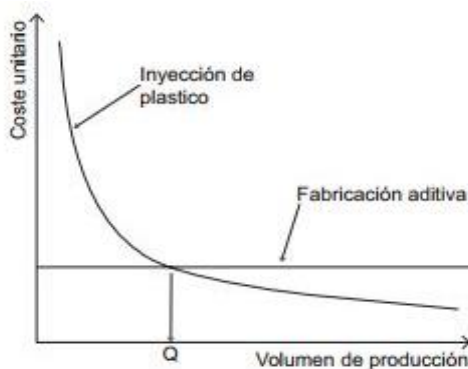


Figura 2-8: Coste unitario Vs volumen de producción [1]

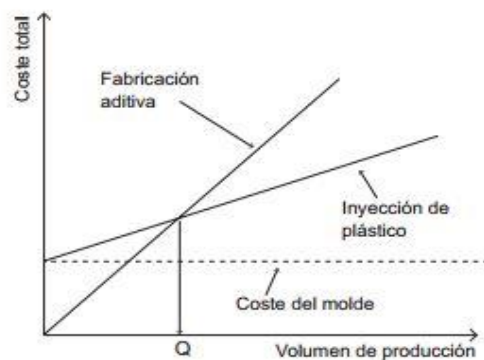


Figura 2-9: Costes Vs volumen de producción [1].

Se espera mejorar los procesos de la fabricación aditiva, logrando mejores resultados en el futuro.

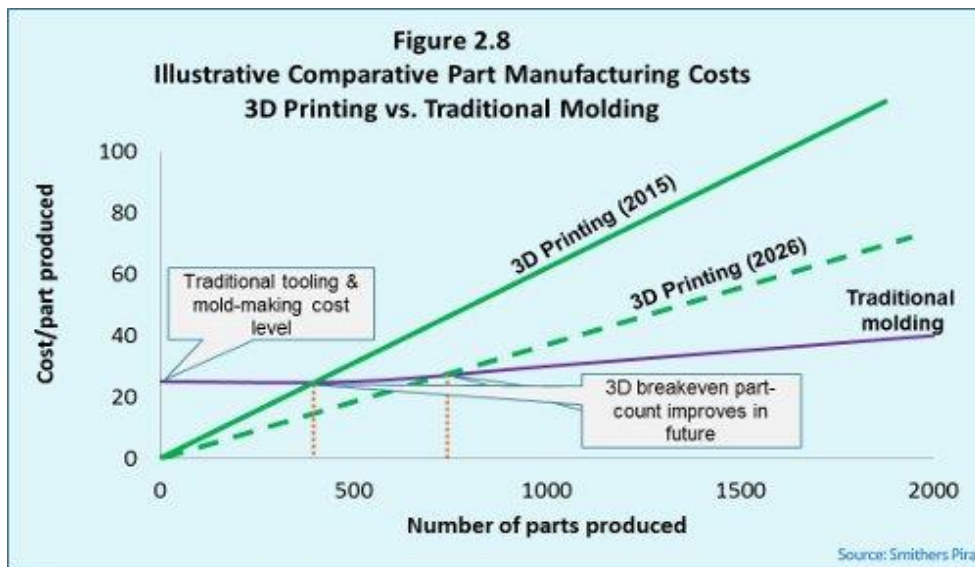


Figura 2-10: Costes frente a volumen de producción [F-7].

Otra restricción reside en el tamaño de la pieza aunque ya se está empezando a desarrollar máquinas capaces de fabricar piezas de gran tamaño. También está restringido por una cota inferior, siendo este el mínimo que puede procesar la impresora, es decir, detalles por debajo de este valor no podrán ser fabricados.

Respecto a las alternativas convencionales, el acabado superficial no mejora. Al ser fabricado por capa se produce un efecto escalón que da origen a una superficie rugosa. Este efecto será menor cuanto menor sea la altura de capa pero, esta modificación, llevará consigo un coste de tiempo en fabricación.

Tampoco lo mejora la calidad y repetitividad, la precisión dimensional con la que se realiza una pieza y la siguiente, no se pueden asegurar. La estabilidad en las propiedades físicas del producto (dureza, elasticidad...), son importantes para la homologación de un producto, y también exige una cierta mejora.

Al fabricar capa a capa afecta a las propiedades mecánicas del material teniendo un comportamiento diferente en las direcciones X Y Z, es decir, tiene propiedades anisótropas.

Los procesos auxiliares como la manipulación de materia prima en polvo, manutención de la máquina o la separación de la pieza con la placa, así como su desplazamiento, son operaciones pendientes a optimizar.

La formación académica, otra limitación. Actualmente, los diseñadores son instruidos para concebir piezas fabricadas mediante procesos sustractivos o conformativos. Ya comienza a entrar cierta formación pero aún no está totalmente implementada.

Por último, la posibilidad en un futuro de poder fabricar productos de forma autónoma hace que se deban considerar asuntos relacionados con la propiedad intelectual. Y es que, hoy en día, se pueden adquirir impresoras 3D de bajo coste, incluso hay cafeterías donde puedes imprimir tus modelos mientras tomas algo.

Sin duda, aún queda por mejorar en este campo, especialmente para piezas metálicas. Aun así las expectativas puestas son muy altas y se está realizando un gran esfuerzo para alcanzar cierto nivel de madurez y aumentar la demanda que, a su vez, permitirá una reducción de precios, gran obstáculo para lanzarse hoy en día.

2.4 Tecnologías y materiales

Cada año se publican más de 1400 nuevas patentes que abarcan todas las facetas de la tecnología incluyendo: procesos, materiales y software [8].

Algunas de las tecnologías que se puede ver en la fabricación aditiva son las siguientes [5]:

TIPOS	TECNOLOGÍA	MATERIALES	VENTAJAS	INCONVENIENTES
EXTRUSIÓN	Modelado por deposición fundida. FDM	Termoplásticos, metales eutécticos, materiales comestibles	Piezas resistentes Geometrías complejas	Acabado superficial más pobre y construcción más lenta que SLA
HILADO	Fabricación por haz de electrones. EBF3	Casi cualquier aleación de metal	-	-
GRANULADO	Sinterizado de metal por láser DMLS	Casi cualquier aleación de metal	Componentes densos Geometrías intrincadas	Necesita acabado Sólo para piezas pequeñas
	Sinterizado selectivo por láser SLS	Termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos	No requiere estructura soporte Elevada resistencia química y al calor	Precisión limitada por el tamaño de la partícula del polvo. Acabado superficial rugoso
	Fusión selectiva por láser. SLM	Polvos metálicos, es muy común el acero inoxidable, acero para herramientas, cromo, cobalto, titanio y aluminio.	Piezas finales con geometría compleja y estructuras con paredes delgadas y huecos ocultos o canales.	Superficie final rugosa, necesario post-procesado mecánico si la aplicación lo requiere.
LAMINADO	Laminado de capas. LOM	Papel, Papel de aluminio, capa de plástico	Alta precisión No necesita soporte adicional	Control de la potencia del láser No óptima para piezas delgadas
FOTOQUÍMICOS	Estereolitografía. SLA	Fotopolímeros y resinas fotosensibles	Geometrías complejas Piezas con detalles Acabado suave	Requiere post-curado Necesita estructura soporte

Tabla 2-1: Tecnologías fabricación aditiva [C-1].

2.5 Actualidad, aplicaciones futuras y sectores

2.5.1 Actualidad y aplicaciones futuras

Un claro ejemplo del esfuerzo económico y humano son los siguientes casos que se exponen a continuación donde se pueden observar los grandes avances producidos.

Unos de los problemas mencionados a resolver es la velocidad de fabricación.

Carbon 3D ha desarrollado una tecnología, denominada CLIP (Continuous Liquid Interface Production). Está caracterizada por la fabricación de piezas más resistentes a una velocidad de 25 a 100 veces superior a las máquinas de impresión 3D convencionales.



Figura 2-11: Reducción del tiempo.

Los principios de este desarrollo se basan en la estereolitografía pero no imprime un objeto capa a capa sino que aprovecha la luz y oxígeno, que traspasan de forma controlada por una ventana transparente y permeable, para ir dando forma a la resina. El oxígeno actúa como inhibidor de que la resina se solidifique en ciertas áreas, y la luz convierte en sólidas aquellas zonas no expuestas por el oxígeno [11].

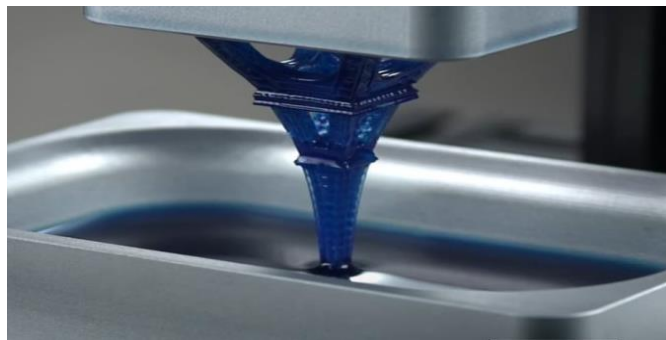


Figura 2-12: Tecnología CLIP.

Sin duda es uno de los avances más prometedores que se ha visto.

De momento la impresora en el mercado posee un volumen de impresión de 144 x 81 x 330 mm. El precio no es barato, es una máquina profesional que alcanza acabados superficiales similares a los conseguidos por inyección en molde [12].

Una de las impresoras más grandes del mundo ha sido fabricada en Estados Unidos, y esta es entre 10 y 15 veces más rápida que las convencionales. Esta ha sido expuesta en la Puerta de Alcalá (Madrid) a principios de diciembre de 2016 para recrear la Estrella de la Muerte antes del estreno mundial de la película Rogue One. La impresión sería 24 horas diarias durante 12 jornadas, salvo trabajos de recalibrado [13].

Las dimensiones de la Estrella de la Muerte fueron de dos metros de diámetro y fue fabricado con PLA.

Aunque actualmente el record de la impresión más grande fabricada, en una única pieza, la tiene Boeing y Oak Ridge National Laboratory. Se trata de una herramienta que sirve para fabricar las alas del nuevo modelo 777X que no tiene previsto volar hasta el año 2020 [14].

La pieza tiene unas dimensiones de 5.3 metros de largo, por 1.6 metros de ancho y medio metro de altura. El material del que se hizo la herramienta es ABS.

Los procesos en metal van algo más lento que la fabricación en plástico por la dificultad extra que conlleva, pero también han alcanzado grandes metas.

Un ejemplo sería el proyecto comenzado en 2011, denominado Aeroswift. Han desarrollado nuevas tecnologías capaces de crear piezas con polvo de titanio a una velocidad impresionante. En 2016 mostraron tres piezas de titanio donde, la impresión, fue hasta diez veces más rápida que otras máquinas con tecnología similar [15].



Figura 2-13: Proyecto Aeroswift.

La impresora tiene un volumen de impresión de $2000 \times 600 \times 600 \text{ mm}$. Actualmente solo hay cinco en el mundo mientras que la comercialización oficial se espera para 2019.

Pero los proyectos no se detienen en este campo, a finales de 2015 da origen el proyecto Kraken. Cuya idea es lograr la mayor impresora híbrida capaz de trabajar materiales metálicos y no metálicos, llegando producir volúmenes de piezas de hasta $20 \times 6 \times 3 \text{ m}$ con una excelente calidad y precisiones muy exactas sin importar el tamaño de la pieza [16].

La duración del proyecto es de 3 años con un presupuesto de 5.9 millones de euros.

También hubo avances en el campo de la medicina, ya existen máquinas de bioimpresión capaces de crear estructuras de tejido vivos y órganos pero, aún no es posible trasplantarlos en humanos. Los expertos estiman que esto no ocurrirá antes de 2030 [17].

De momento las pruebas se están realizando sobre roedores, donde ya se han obtenido algunos resultados positivos [18].

Cambiando de campo, Boing, patenta una nueva técnica de fabricación aditiva por levitación en el espacio. El sistema contiene una base magnética equipada con ondas que son las que causan la levitación, las múltiples impresoras, situadas alrededor, se encargan de depositar el material.

El documento incluso hace referencia a la posibilidad de emplear la levitación cuántica y la electrostática. Después, mientras el núcleo de la pieza gira en el aire, las máquinas que la rodean van añadiéndole nuevo material desde todos los ángulos posibles que se va depositando capa por capa sobre la pepita [19].

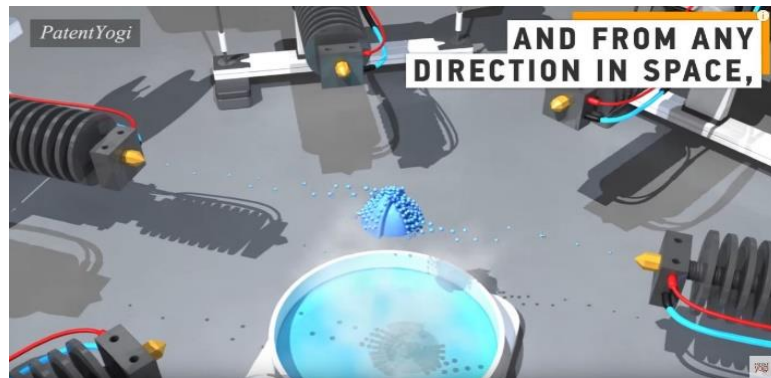


Figura 2-14: Nueva tecnología patentada por Boing.

WASP es otra empresa que también está desarrollando una máquina innovadora, la Big Delta. Su lema es “impresión 3D para salvar el mundo” y está configurada para fabricar casas de barro inspirado en la arquitectura en adobe [21].



Figura 2-15: Big Delta

Esta impresora, de 12 metros y 3 brazos móviles, sería capaz de levantar construcciones de barro de 3 metros de altura y se podría aplicar en situaciones de emergencia o desastres naturales, aunque de momento se está trabajando con prototipos más pequeños [21].

Por último, se va a comentar el proyecto en curso FA ELECTRIC. Cuyo objetivo es realizar piezas con sensores en un único paso. La pieza sería fabricada a la vez que los sensores, en lugar de ser integrados posteriormente [22].

En definitiva, se puede concluir que estos métodos de fabricación ha llamado la atención de muchísimos sectores, los cuales se entrara en más detalle en el siguiente apartado.

2.5.2 Sectores

Uno de los sectores que más han avanzado ha sido el campo de la medicina. La capacidad de crear objetos complejos, la personalización y la eficacia ante la baja producción son algunos de los aspectos más interesantes para este campo.

Aún no es posible los trasplantes de órganos o estructuras de tejidos vivos en los seres humanos pero, si es posible realizar modelos anatómicos exactos que ofrezcan a los médicos la oportunidad de entrenar, dar diagnósticos o planificar tratamientos. Un ejemplo fue la operación de corazón de un pequeño de 11 meses tras estudiarlo previamente a través de una réplica [23].

Los casos de prótesis o estructuras sin vida cuya complejidad es muy inferior a la de cualquier órgano humano, sí han llegado a implementarse. Por ejemplo fragmentos de mandíbula, tráquea, vertebrae e incluso de un cráneo. En caso de las prótesis, las más usadas son los modelos dentales y las prótesis robóticas, en piernas y manos principalmente, controladas mediante ondas cerebrales [24].

Otro uso en este sector es la fabricación de herramientas y utillaje de ayuda en las intervenciones.



Figura 2-16: Prótesis [4].

Otro sector que está apostando fuerte es el aeronáutico/aeroespacial. Muy similar al caso anterior, los bajos volúmenes de fabricación, la necesidad de un compromiso óptimo entre la resistencia mecánica de las piezas y su peso, la personalización y la necesidad de utilizar geometrías complejas constituyen un escenario ideal para la fabricación aditiva [1].

La creación de prototipos, herramientas, utillaje o recambios son algunas de las muchas aplicaciones posibles en este sector. La fabricación aditiva también ofrece la posibilidad de añadir electrónica incrustada en la propia fabricación de la pieza, ofreciendo una gran oportunidad de innovación en los productos [25].

En 2015, en el Salón Internacional de la Aeronáutica y el Espacio de París, Stratasys destacó los procesos y materiales certificados que le permitieron fabricar más de un millar de componentes del nuevo Airbus A350 XWB. Los resultados obtenidos fueron muy buenos, lograron reducir el peso, el número de piezas y las restricciones en el diseño, entre otros [26].

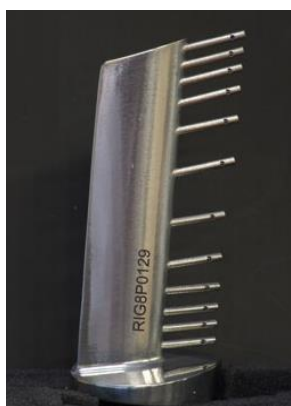


Figura 2-17: Rake de instrumentación.

También se trabaja en la instrumentación aeronáutica, como es el caso de los rake de instrumentación de presión para medir los perfiles de velocidad de los gases a la salida de las turbinas de reacción. El proceso actual es muy complejo, laborioso y caro, además del alto desperdicio de material, donde se llega a desperdiciar aproximadamente un 60% del bloque inicial. Mediante la tecnología DMLS, puede llegar a construirse en una única pieza, aumentando la robustez al evitar uniones y precisión al prescindir de las operaciones manuales de doblado y soldadura. De las dieciséis semanas actuales pasaría a fabricarse en cuatro semanas [27].

También se espera grandes mejoras en los motores, Pratt & Whitney explora la reducción de piezas, que necesitarán menos ensamblajes, incluso prevé aviones totalmente nuevos, con el motor integrado en el ala para lograr una eficiencia ultra aerodinámica. Distribuir el ala a lo largo del borde de salida y en la parte trasera del fuselaje podría reducir el consumo un 20 % y reducir peso. En conjunto, no sería inconcebible pensar en ahorros del 50% en combustible. Para ello, la fabricación aditiva aún debe mejorar en la precisión de las máquinas [28].

Los cambios también afectan a los aviones no tripulados.

Este prototipo no tripulado de alta velocidad ha sido presentado recientemente como parte de la edición del Dubai International Airshow de 2015. Se trata del avión no tripulado de propulsión a chorro, impreso en 3D, más rápido del mundo hasta el momento [29]. El 80% del avión está construido mediante tecnologías aditivas. El método utilizado ha sido FDM aunque, en otras zonas como el tanque de combustible de nylon, se utilizó la sinterización laser. Uno de los materiales utilizados ha sido ULTEM 9085, un innovador material resistente y ultraligero.

Tiene 3 metros de envergadura, pesa 15 kg y alcanza los 240 km/h.



Figura 2-18: Avión no tripulado utilizando fabricación aditiva [29].

Estos dos sectores, a pesar de ser bastante conservadores, fueron de los primeros que apostaron por esta tecnología aunque, el sector de automoción no se queda atrás, actualmente ya se ha llegado a fabricar coches en 3D.

Strati fue el primer coche impreso donde las llantas, batería y suspensión son las únicas piezas con materiales tradicionales. El coche es eléctrico y está formado únicamente por 49 piezas impresas [30].

La batería alcanza para una distancia de 193 a 241 km aproximadamente a una velocidad máxima de 64 km/h. Plantean la comercialización de este por unos 17000 \$.

Como se puede ver, el número de aplicaciones es infinita y afecta a muchos otros sectores como arquitectura, joyería, arte, textil, militar, educación, incluso existen máquinas que tratan con la comida.

Antes de fabricar el objeto se requiere un trabajo previo en el modelo 3D que se quiere obtener, este se realiza mediante programas informáticos. Pues bien en este aspecto también se está avanzando ya que los programas de diseño asistido por ordenador estaban desarrollados para los procesos de fabricación convencionales. Esto provocaba que no se aprovechara al máximo todo el potencial posible en la parte de diseño.

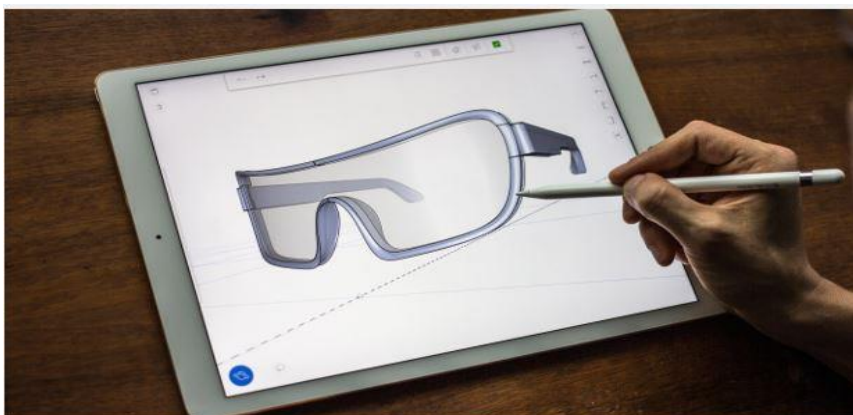


Figura 2-19: Vectary, software más desarrollado en los últimos meses. [31]

3 IMPRESIÓN POR DEPOSICIÓN DE FUNDIDO

A lo largo de este apartado se va a exponer la teoría necesaria acerca de la aplicación que se va a desarrollar, el soporte variable para el móvil. Para ello se va a definir las diferentes fases por las que pasa desde el diseño hasta la obtención de la pieza final.

También se definirá la tecnología, material, softwares e impresora 3D que se han escogido para este proyecto, así como el funcionamiento de la máquina utilizada para su fabricación.

3.1 Fases

Para la obtención de la pieza final hay que pasar previamente por diferentes fases.

Una vez se tenga la idea de la pieza que se quiere fabricar, el siguiente paso es el **diseño del producto**. El objetivo de esta fase es lograr la pieza de forma virtual, para ello existen tres opciones posibles.

- Diseñar un modelo mediante softwares de diseño.
- Mediante el uso de un escáner.
- Descargar los diseños en internet.

Tras este paso se obtiene **un archivo CAD**, el cual habrá que **convertirlo en un archivo STL**. De esta forma, el objeto se transforma en una malla formada por triángulos ajustándose a la geometría de la pieza. Cuanto mayor número de triángulos conforme el diseño, el tamaño del archivo será mayor aunque también tendrá mayor precisión. Si el tamaño del archivo es excesivo puede resultar tediosa la configuración del G-code debido a la lentitud al calcular los resultados.

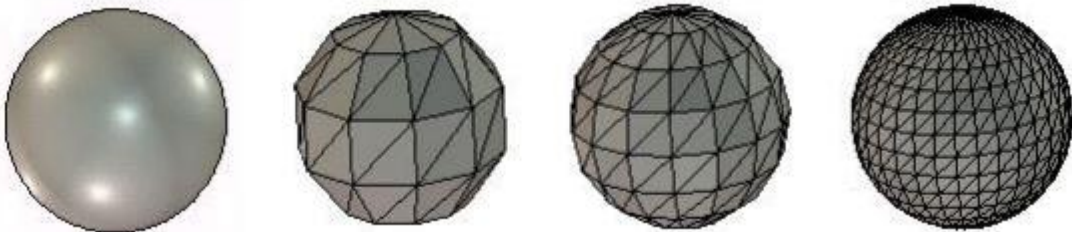


Figura 3-1: Conversión STL. Triangulación de superficies [2].

La información geométrica se elimina, (tangencias, radios, límites, etc), y pasa a ser información matemática donde solo contempla los triángulos interrelacionados y la posición de sus vértices. De esta forma se puede trabajar bajo un formato binario o ASCII [2].

Ya con el archivo STL es imprescindible **verificar y reparar** posibles **errores** en el archivo STL que pueden provocar errores de impresión.

Una vez se tenga el STL, verificado, la siguiente fase es la **generación del G-code**.

Las diferentes piezas se fabricarán capa a capa hasta alcanzar la geometría final. Por tanto, se utilizará un software de laminación para generar el G-code. Dicho software dividirá la pieza en diferentes capas a partir del STL, en el transcurso de esta operación se perderá información asociada a la geometría debido al espesor de la capa.

Según el posicionamiento que se le dé a la pieza, en el software, es posible que requiera de soporte para construir ciertas geometrías.

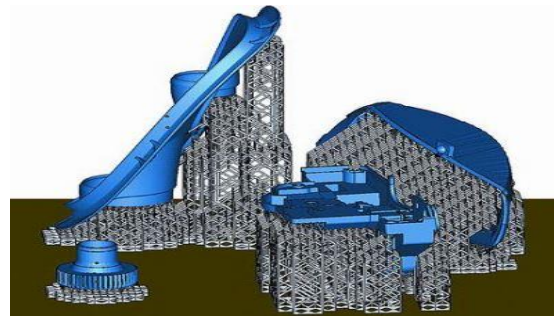


Figura 3-2: Piezas más soportes [2].

En el archivo G-code quedará registrado toda la información necesaria para fabricar la pieza (temperaturas, velocidades, espesores, desplazamientos, etc). Dicho archivo es una lista de comandos compatibles con la impresora 3D, encargada de realizar todas las instrucciones especificadas en el G-code.

El siguiente paso ya se trataría de la **fabricación de la pieza**. Para el uso de la impresora se ha redactado el protocolo, comentando en detalle más adelante.

Las fases de la fabricación aditiva acabarían en este punto, con la pieza ya fabricada, que puede resumirse en la siguiente imagen.

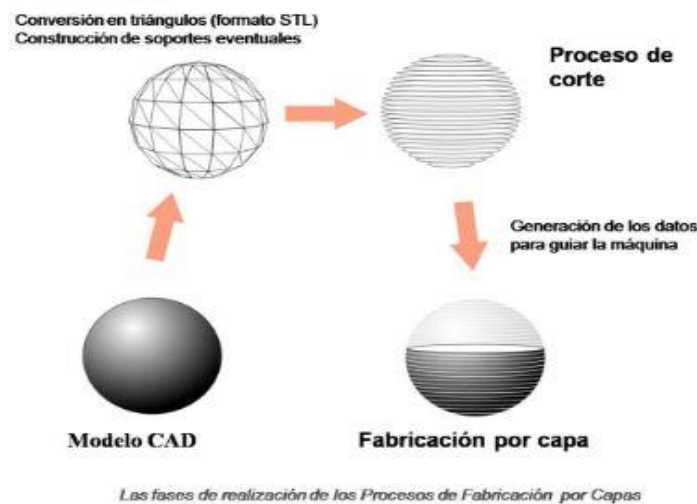


Figura 3-3: Fases de fabricación [3].

Sin embargo se van a añadir un par de acciones más que también se van a realizar a lo largo del proyecto.

Se tiene la opción de realizar **post-tratamientos**. Puede realizarse por diferentes motivos.

- Mejorar la estética de la pieza, por ejemplo lograr un mejor acabado superficial, pintar...
- Por motivos de funcionalidad, como realizar un taladro para sanear la zona del tornillo para realizarle la rosca, realizar algunos retoques que impiden el correcto funcionamiento...

En muchas ocasiones la decisión de realizar post-tratamiento dependerá del objetivo final de la pieza o de los requisitos impuestos por el cliente.

Si un producto está compuesto por muchas piezas será necesario que el **ensamblaje** del conjunto cumpla sus objetivos, además de realizar varias **pruebas** para estudiar las limitaciones que puede llegar a tener el producto.

3.2 Tecnología

La tecnología para este proyecto es FDM, modelado por deposición fundida. Esta tecnología también es conocida como fabricación con filamentos fundidos, FFF, para evitar problemas de patentes.

Esta tecnología fue desarrollada en los 80 por Scott Crump, fundador de Stratasys, y comercializada en 1991.

El material termoplástico se encuentra en estado sólido y en forma de filamentos, almacenados en rollos. El filamento se coloca en el extrusor, donde irá tirando de este y fundiéndolo para depositarlo de manera precisa en forma de finos hilos que, capa a capa, se irán solidificando, por diferencias de temperaturas, hasta crear el objeto deseado. Al encontrarse fundido el material se adhiere a la mesa de trabajo o a las últimas capas perfectamente.

La máquina puede poseer más de un extrusor, de forma que pueda imprimir en diferentes colores o utilizar materiales diferentes. Por ejemplo, en ciertas geometrías se necesita fabricar un soporte para no construir capas en el aire y que, posteriormente, se retirará de la pieza. Si el soporte es del mismo material que la pieza, al retirarlo, deja la zona rugosa o marcada pero, si se realiza con otro material, la extracción podría resultar más fácil. Existen materiales que se utilizan exclusivamente para apoyo, también los hay para la limpieza del extrusor.

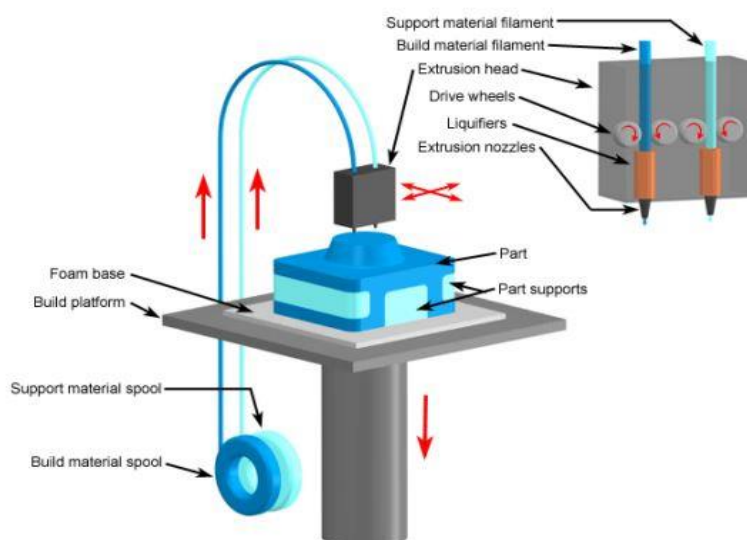


Figura 3-4: Modelado por deposición fundida [4].

Esta tecnología es de la más barata y muy fácil de manejar pero, es un proceso bastante lento y la calidad superficial es muy inferior en comparación con otras tecnologías de fabricación aditiva.

3.3 Material

Para la fabricación se va a utilizar ácido poliláctico, PLA. Se trata de un polímero biodegradable derivado del ácido láctico y se fabrica a partir de recursos renovables como el maíz, trigo, remolacha y otros productos ricos en almidón [34].

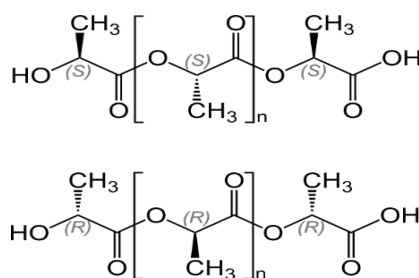


Figura 3-5: Estructura del PLA. [F-8]

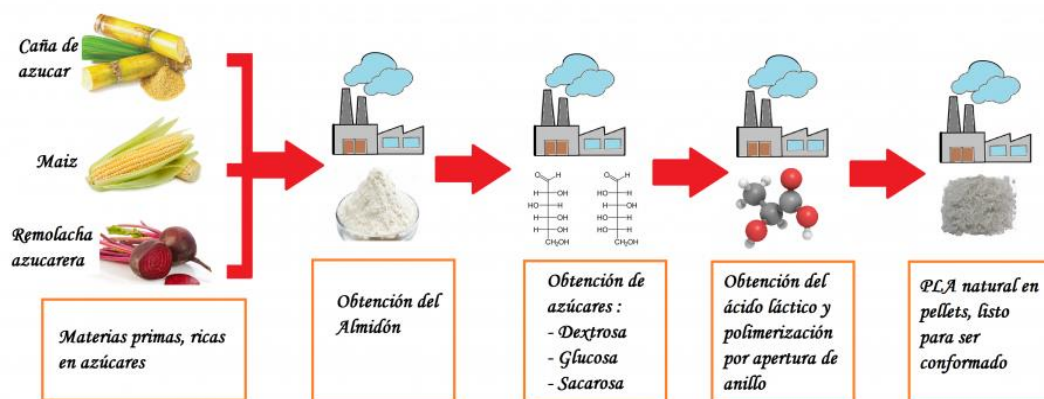


Figura 3-6: Proceso de obtención del PLA [32].

3.3.1 Propiedades

Es uno de los materiales más fáciles de tratar y baratos por lo que lo convierte en uno de los materiales más utilizados y aptos para realizar prototipos. Por otra parte, tanto el acabado como las prestaciones que ofrecen son inferiores a otros materiales.

COMPARATIVA DE MATERIALES

Materiales testados por Tumaker

	Tª de deformación	Acabado	Resistencia	Contracción
ABS	110°C	↑↑↑↑	↑↑	↑↑
PLA	60°C	↑	↑	↓
Colorfabb XT	75°C	↑↑	↑↑	↓↓
NYLON	180°C	↓	↑↑↑↑	↑↑

Figura 3-7: Comparativa de materiales [F-9].

La **referencia de temperaturas** con las que se trabajan diferentes materiales se pueden ver en la siguiente imagen:

TABLA DE TEMPERATURAS

Materiales testados por Tumaker

	Tª IMPRESIÓN	Tª CAMA
ABS	240	80
PLA	220	50
Colorfabb XT	245	70
PET	230	50
NINJAFLEX	250	50
NYLON	260	50
WOODFILL	220	50
HIPS	240	80

Estas temperaturas pueden variar según las condiciones del entorno y el fabricante.
Última actualización: Febrero del 2015

Figura 3-8: Tabla de temperaturas [F-9].

No se trata de fijar la temperatura para un material concreto sino que existe un rango con el que se puede trabajar. Al aumentar la temperatura, la velocidad de impresión puede ser mayor ya que dispones con mayor rapidez de material fundido pero, un exceso de temperatura puede quemar el material y perder las propiedades, aparte de ser perjudicial para la boquilla. Al igual ocurre si se reduce la temperatura del óptimo, la velocidad con la que trabaja es menor pero se reduce un poco el gradiente de temperaturas y mejora el trato a la boquilla, una reducción excesiva puede llegar a provocar atascos en la boquilla o defectos de impresión.

Como cualquier otro material, este se puede encontrar en diferentes calidades y dependerá del fabricante, influyendo también en los diferentes parámetros y afectando a las propiedades de la pieza.

El PLA a diferencia de otros materiales no deriva del petróleo y, no suelta gases nocivos. El caso del ABS desprende gases que, en concentraciones altas, pueden ser nocivos por lo que, se recomienda ventilar la zona de trabajo. Además, el olor es más agradable en el caso del PLA [35].

Es un material más pegajoso y con un coeficiente de rozamiento más alto que el ABS, necesitando más fuerza para la extrusión.

Otras propiedades destacables son las que se muestran en la siguiente tabla, donde se comparará con otro material, el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).

	UNIDAD	PLA	ABS
Densidad	g/cm^3	1.25	1.03 – 1.38
Módulo de elasticidad	GPa	3.5	1.7 – 2.8
Elongación a la rotura	%	6	3 – 75
Módulo de flexión	GPa	4	2.1 – 7.6
Resistencia a la flexión	MPa	80	69 – 97
Resistencia a la quebraduras	MPa	60	70
Resistencia a impactos	kJ/m^2	5 – 50	2 – 40
Temperatura de transición vítrea	$^{\circ}C$	60	100
Temperatura de deflexión del calor (a 455 KPa)	$^{\circ}C$	65	84 – 118
Capacidad calorífica específica	J/kgK	1800	1080 – 1400
Relación fuerza-peso	KNm/kg	40	31 – 80
Resistencia a la tracción (UTS)	MPa	50	33 – 110
Conductividad térmica	W/mK	0.13	0.17
Coeficiente de expansión térmica	$* 10^{-6}/K$	—	80

Tabla 3-1: Propiedades del PLA y ABS [C-2].

La temperatura a la que se comienza a deformar, o ser maleable, es bastante baja. No es el material ideal para situaciones de altas temperaturas.

A diferencia del ABS, es necesario tener activado el ventilador de la impresora cuando se trabaja con PLA. Es cierto que la conductividad térmica es inferior en el PLA, por tanto disipa más lento el calor y el enfriamiento es más lento, sin embargo la diferencia no es demasiada siendo, en casos prácticos, despreciable. La causa

principal se debe al coeficiente de dilatación térmica, donde en el ABS sí llega a ser bastante elevada, por tanto, al enfriarse el material tiende al contraerse provocando defectos en la pieza como el warping. Cuanto más rápido sea el enfriamiento, mayor será este efecto creando tensiones internas que pueden llegar a provocar grietas en la pieza. En el caso del PLA, apenas tiende a contraerse cuando este se enfría.

El módulo de elasticidad del PLA es mayor, por tanto, se trata de un material más rígido dificultando la deformación ante cargas o, lo que es lo mismo, un material menos elástico que el ABS. La dureza shore también es superior en el caso del PLA, de grado 63.5, convirtiéndolo en un plástico más duro [32]. Por el contrario, es un material menos resistente que el ABS. De hecho, debido a la rigidez del PLA, podría quebrarse piezas que soporten resistencia mecánica [33].

En caso de post-tratamiento, es bastante tedioso manipular una pieza fabricada con PLA. Además el acabado superficial es peor que lo conseguido en ABS.

A diferencia del ABS, el PLA no es reutilizable [33].

Existen otros muchísimos materiales y con propiedades muy distintas a las comentadas. Un ejemplo es el *Filaflex*, es un material gomoso donde las deformaciones que alcanzan son muy altas.

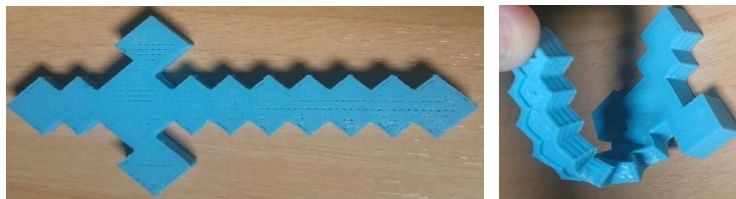


Figura 3-9: Filaflex.

La densidad de relleno debe ser baja para no perder esta propiedad (inferior al 15%) y, debido a las características de este material, se aconseja utilizar una boquilla de extrusor de 0.6 mm mínimo. Es un material bastante más complejo de usar que el PLA.

En conclusión, el uso de PLA es más recomendable para el uso doméstico, prototipos, decoración o piezas que no requieran mucha resistencia mecánica o se expongan a altas temperaturas.

3.4 Aplicaciones informáticas

Para llevar a cabo las primeras fases se va a dar uso de diferentes softwares.

- a) **Fase de diseño.** Para el modelo virtual de las diferentes piezas se va a utilizar *Catia*, se trata de un programa de diseño asistido por ordenador (CAD). Para convertir el archivo CAD en STL se ha utilizado este mismo software.

Catia se ha complementado con otro programa para el diseño de la carcasa. *Corel Draw* se ha usado para vectorizar imágenes y utilizarlas en *Catia*.

Programa para visualizar el archivo STL: *Autodesk 123D Make*.

- b) **Fase de verificación.** Se abre el archivo STL mediante el programa *Netfabb*. Es un software simple que permite visualizar de manera muy fácil si el modelo está apto, en caso contrario da la opción de repararlo automáticamente.
- c) **Fase de generación del G-code.** Ya verificado el modelo, el siguiente paso es configurar los parámetros con los que se va a imprimir. Para ello, el programa con el que se ha trabajado es *Cura*. Al finalizar, el archivo se guardará en una tarjeta SD.

En *Anexo 1* se puede ver en más detalle cada uno de estos programas. En el caso de *Catia*, no se hizo una guía del programa sobre cómo diseñar sino que se expuso varios consejos a tener en cuenta a la hora de diseñar, pensando en que se va a fabricar por métodos aditivos.

3.5 Impresora 3D

Tras obtener el G-code, el siguiente paso es fabricar la pieza. Desde 2009 se comercializa con estas impresoras donde el aumento de venta aumenta cada año. Existen varios modelos de impresoras y con áreas de impresión y prestaciones diferentes aunque no suelen ser de gran tamaño. Un gran aumento de tamaño conllevaría un gran aumento de precio.

Un par de ejemplos de las impresoras en el mercado son las siguientes:

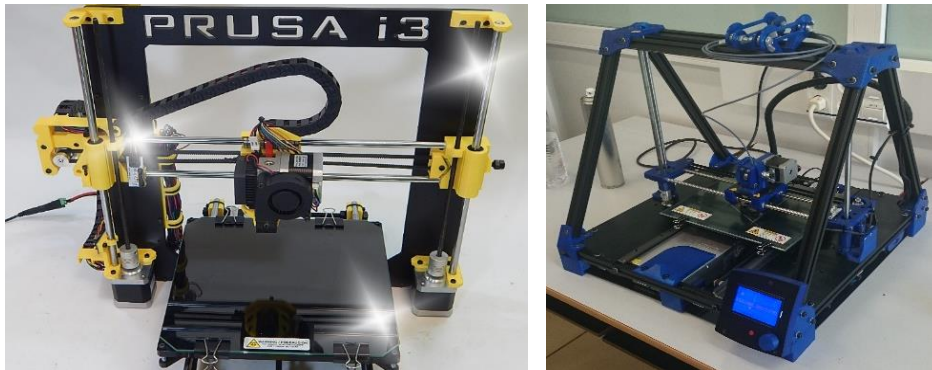


Figura 3-10: Impresoras 3D doméstica [F-10].

3.5.1 Mantenimiento

Como cualquier máquina, esta necesita de mantenimiento periódico para que pueda continuar trabajando sin problemas, evitando fallos que pudieran ser evitados fácilmente. Este se puede realizar aproximadamente una vez al mes, dependiendo del uso que se le dé a la impresora.

Un buen mantenimiento y trato de la impresora permitirá alargar la vida de esta y lograr mejoras en los resultados. Antes de nada, siempre que sea posible, es conveniente desconectar de la corriente la impresora.

El orden de los pasos a seguir para realizar un buen mantenimiento son [36]:

- 1) **Revisión de tuercas y tornillería.** Las vibraciones al fabricar pueden llegar a aflojar las tuercas y tornillos.
- 2) **Limpieza de los ventiladores y la electrónica.** En estos lugares suele acumularse mucho polvo, esto puede provocar una mala refrigeración o fallos en la electrónica.
- 3) **Comprobación de la tensión de las correas.** Con el uso y el paso del tiempo pueden llegar a destensarse provocando fallos en la impresión.
- 4) **Limpieza y engrase de varillas lisas y roscadas.** Las varillas deben estar bien limpias y engrasadas para que no produzcan ruidos ni vibraciones.
- 5) **Limpieza del cristal de la base.** Debido al uso de laca se va creando capas, mayores cuanto más veces lo utilice, además estas capas también puede contener restos de plástico de impresiones anteriores. Es conveniente limpiar el cristal cada cierto tiempo.
- 6) **Limpieza del hotend.** Para evitar atascos hay que mantener esta zona limpia. Si se diera el caso, lo más fácil es utilizar materiales específicos para limpiar el hotend. Si no arreglara el problema, otro método es, una vez extraído el material, meter una varilla y moverla por la boquilla unos segundos para eliminar los restos de plástico que pudieran estar atascando el extrusor. En cualquier caso, la zona está a una temperatura muy alta y hay que tener cuidado.
- 7) **Nivelación de la base.** Una mala nivelación va a afectar a la pieza. Es un fallo muy fácil de ver ya, en las primeras capas, se va apreciar que deposita más o menos material dependiendo de la zona en la que se encuentra. Eso se debe a que la cama no está totalmente al plano XY.

Puede darse el caso que no salga material, porque la punta está demasiado pegada a la base, impidiendo salir o, por el contrario, que esté demasiado separada y el material caiga en lugar de aplastarse sobre la mesa. Ambos casos perjudican a la fabricación ya que en el primer caso puede estropear la punta y/o obstruirla y, en el segundo caso, se tenga una mala adherencia y la pieza se desprende.

Para nivelar la cama, sobre ella hay tres tornillos que van a permitir elevar o bajar la zona correspondiente a su respectivo tornillo. Se va a exponer dos posibles formas para evitar este problema.

- **Seleccionando autohome y soltando motores.** La distancia entre la punta y la base debe ser 1.6 mm, aproximadamente un folio doblado. Haciendo uso de los tornillos, se comprueba que las esquinas y el centro están a la distancia correcta.
- **Diseñar un patrón de calibración.** Mientras se fabrica el patrón se van girando los tornillos para elevar o bajar las zonas que nos interesan. En las zonas donde más material aporta conviene bajar la cama, es decir, girar esa zona en sentido de las agujas del reloj. Por el contrario, si deposita menos material convendrá subir esa zona, girando en sentido opuesto. Cuando en todas las zonas imprime correctamente, la cama está nivelada.

Un ejemplo del diseño de un patrón de calibración.

Si ocurre durante la impresión de una pieza, y no durante el mantenimiento, la corrección se puede realizar en ese mismo instante. Tras nivelar la base, se detiene la impresión y se vuelve a comenzar, ya nivelada. Esta nivelación improvisada se realizaría en las primeras capas, en cuanto se observa que no deposita bien el material.

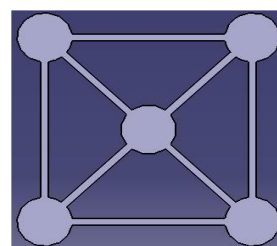


Figura 3-11: Patrón de calibración.

Para poner en funcionamiento la impresora habrá que tener en cuenta una serie de pasos que se detallan en el protocolo.

3.5.2 Protocolo

En primer lugar, se recomienda el uso de guantes para evitar riesgos de desconfigurar la electrónica de la máquina.

Una vez encendida la máquina se comprueba el material, si hay material ya colocado en el extrusor y si este coincide con el material que se va a utilizar para fabricar la pieza.

- **Hay material y coincide.** Se calienta el extrusor y la cama a la temperatura de trabajo para ese material. En caso de no haber suficiente material para la fabricación se puede proceder de diferentes formas:
 - Llegados a la temperatura de extrusión del material, cortar el filamento y extruir el sobrante, introduciendo el nuevo rollo de material mientras se está extruyendo material. Al ser el mismo material, la temperatura de extrusión también.
 - Otra opción es quitar los tornillos frontales del extrusor y, a la temperatura de trabajo, extraer el material. Introducir el nuevo rollo y extruir material para introducirlo en el extrusor. Una vez enganchado el material en el extrusor, cerrar la tapa frontal y apretar los tornillos para tener disponible el nuevo rollo de material.
 - Una posibilidad más arriesgada es fabricar la pieza y, cuando se esté agotando el material, enlazarlo con otro filamento del mismo material. No se recomienda, principalmente en piezas funcionales, para un simple prototipo es una forma de aprovechar los retales sobrantes.

- **Hay material pero no coincide.** Al ser materiales diferentes es muy probable que la temperatura de fusión de cada uno sea diferente. Por tanto habrá que calentar hasta la temperatura de extrusión del material colocado, quitar los tornillos frontales y extraer el material. Ya sin material se vuelve a cargar una nueva temperatura, la del material que se va a utilizar. Alcanzada la temperatura, se introduce el material y, una vez enganchado, se vuelve a colocar los tornillos frontales.
- **No hay material en el extrusor.** En este caso habría que calentar el extrusor a la temperatura de fusión del material escogido para fabricar e introducirlo como se explicó en los casos anteriores.

En cualquier caso, es importante que el extrusor tenga la temperatura adecuada según con el material que se esté trabajando. Tras este paso el material estará colocado y a la temperatura adecuada. Si aún no estuviese el archivo en la SD, es el momento de hacerlo.

Alcanzar la temperatura de extrusión y de la base de impresión necesaria tarda alrededor de 10 - 15 minutos. Este tiempo podría aprovecharse para realizar el G-code en piezas de fácil configuración para aprovechar el tiempo mientras se prepara la máquina.

Al comenzar la extrusión existe un tiempo de transición en el que el material no se deposita de forma homogénea perjudicando a la calidad final. Por este motivo es conveniente realizar una pequeña extrusión de material de forma manual. Para ello se verifica la posición, en Z, del extrusor, en caso de que el extrusor este demasiado cerca de la base, se eleva. A continuación se extruye material, una buena extrusión manual hará que el material acabe depositándose en forma de espiral.

Tras la extrusión manual, el material depositado se retira y se echa laca en la base para mejorar la adherencia. Es posible que esto reduzca un poco la temperatura de la cama por lo que, una vez verificada la temperatura de extrusión y cama, se comienza la impresión de la pieza. Es conveniente que pase el menor tiempo posible entre la extrusión manual y el comienzo de impresión.

Iniciada la impresión es importante estar atento a las primeras capas. Una buena extrusión manual más el perímetro adicional antes de comenzar a fabricar la pieza es suficiente para que se deposite correctamente el material en la primera capa. Si esto no fuera así detener la impresión e intentar solucionar el problema.

Otro posible error en la fabricación es que la base esté desnivelada. Esto puede apreciarse cuando deposita más material en ciertas zonas que en otras. En estos casos se necesitaría parar la impresión para calibrar la cama y, tras esto, volver a repetir el proceso. En cualquier otro error que surja, detener la impresión y buscar solución.

Si la impresión finaliza correctamente, los siguientes pasos depende de:

- **Continuar la impresión de otras piezas:** Retiras la pieza fabricada y calientas de nuevo a la temperatura de trabajo, repitiendo todo el proceso.
- **Apagar la máquina:** En este caso depende del tiempo que vas a estar sin fabricar, en cualquier caso retiras la pieza.
 - Si el periodo sin fabricar es menor de 24 horas, seleccionas cooldown para apagar el extrusor y la base y, una vez se encuentre a temperatura ambiente, apagas la máquina.
 - Si va a pasar más de un día sin hacer uso de la impresora es conveniente volver a precalentar la máquina y extraer el material. Ya extraído, se enfría la máquina a temperatura ambiente y se apaga.

El motivo por el que se aconseja extraer el material es que este puede dilatarse en ciertas condiciones y puede provocar fallos que pueden evitarse fácilmente.

Definido el protocolo, la siguiente imagen muestra esto mismo de una manera más visual.

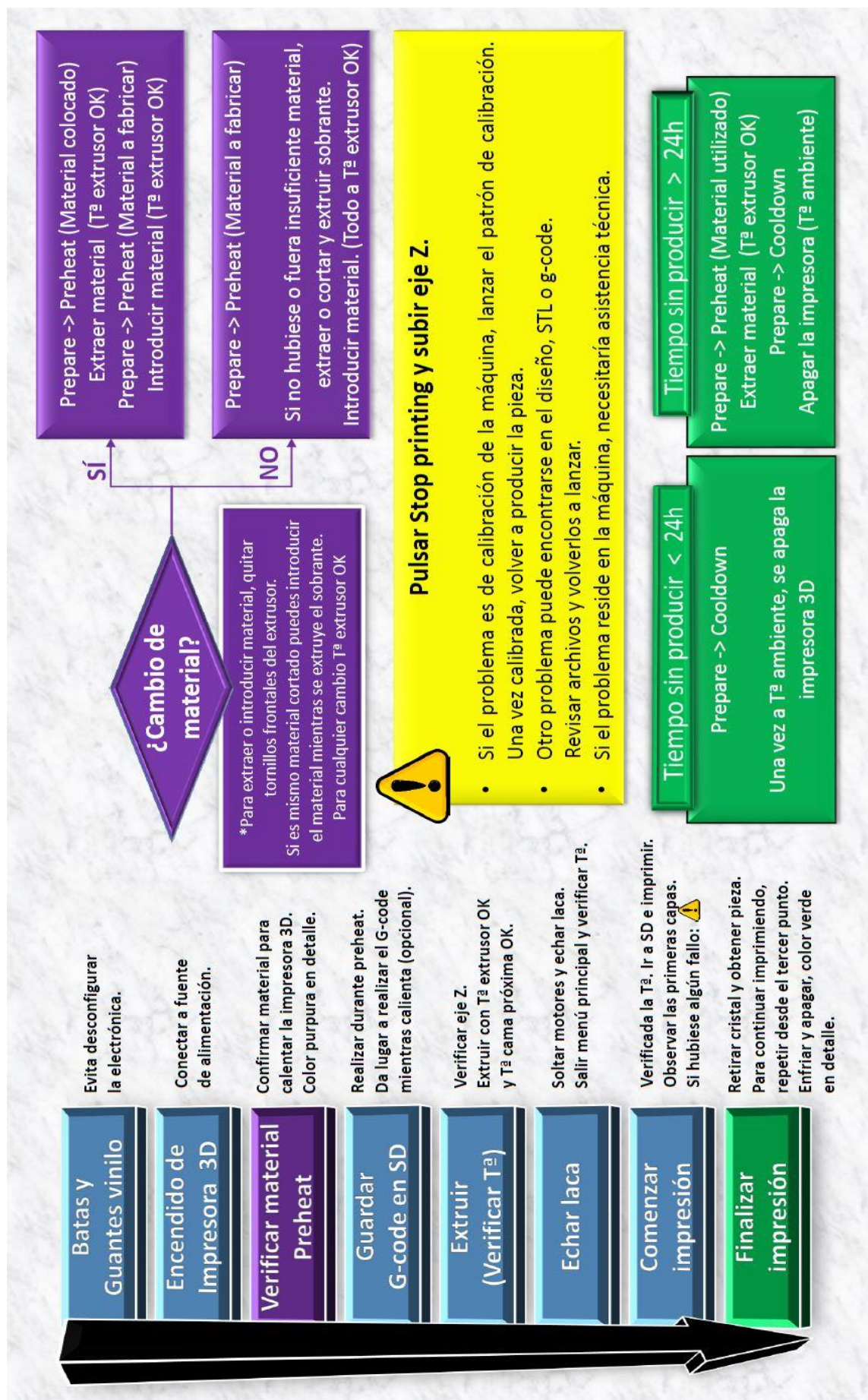


Figura 3-12: Protocolo.

4 DISEÑO DEL SOPORTE

En este capítulo se va a mostrar todo lo relacionado con el diseño de la aplicación de este proyecto.

4.1 Evolución del diseño

Esta sección se ha dedicado a desarrollar la evolución que ha tenido el modelo de Catia. Se tiene una idea general sobre lo que se va a diseñar, gracias al modelo original, pero no se va a seguir fielmente ese ejemplar. Se comienza a diseñar cuando ya tienes en mente los posibles cambios que se van a realizar, incluso van apareciendo nuevas ideas al mismo tiempo que se van diseñando esa, u otra pieza, llegándose a desarrollar durante la marcha. Dicho esto, se muestra un prototipo del primer modelo.

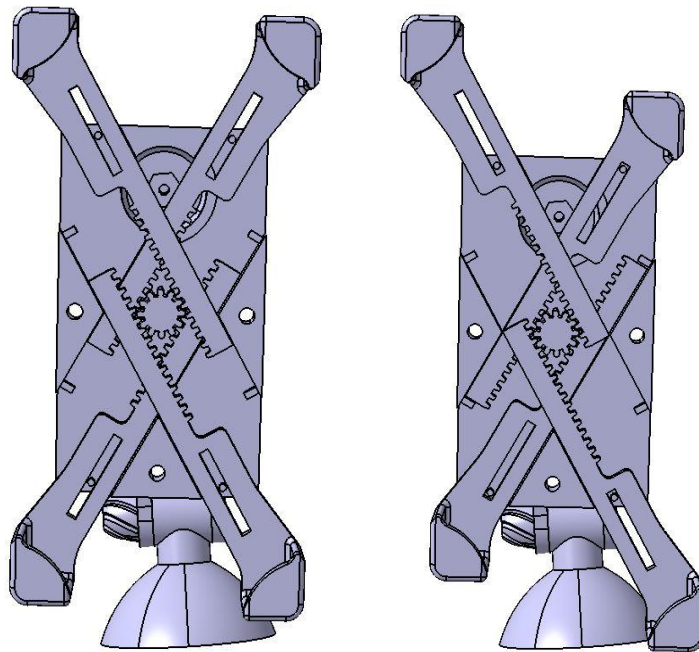


Figura 4-1: Primer diseño. Interior de la carcasa.

Este primer modelo no resulta funcional. De primeras se buscó la simetría en el diseño pero, al situar las *guías* en su posición, se puede ver fácilmente en la imagen anterior que no cumple su función debido a que las *guías* no se desplazan en la dirección correcta. Al reposicionar las *guías*, en el nuevo modelo, se solucionó este error. El tetón que limita la apertura máxima también se tuvo que modificar al cambiar la posición de las *guías*.

El agarre del móvil también se puede ver que ha sufrido cambios, se optó por un diseño algo más simple y fácil de modificar en caso de necesitarlo.

Existían dudas sobre el ensamblaje que se quería realizar en la carcasa, por tanto, se realizaron pruebas de esta zona en concreto. El primer diseño del pincho estaba lejos de la opción final aunque, tras varias pruebas se acercó bastante a la solución final. Los agujeros para el ensamblaje tuvieron que aumentarse 2 mm.

En el nuevo diseño, también se introdujo nuevas restricciones en el movimiento de las *guías*, para evitar que se desviara de la dirección deseada. Tras la primera fabricación, una de las *guías* se desviaba unos 3 mm de su carril, la pieza era funcional por lo que esta acción no era totalmente necesaria. Además como se verá más adelante, estas restricciones son mejorables ya que no está en contacto con dos de las *guías* durante todo el recorrido.

Un cambio que no puede apreciarse a simple vista, pero importante, es el comentado en el próximo subapartado, *mejora en el diseño*.

Ya comentados varios de los cambios que ha sufrido el diseño se presenta la imagen equivalente a la anterior pero, con el modelo final.

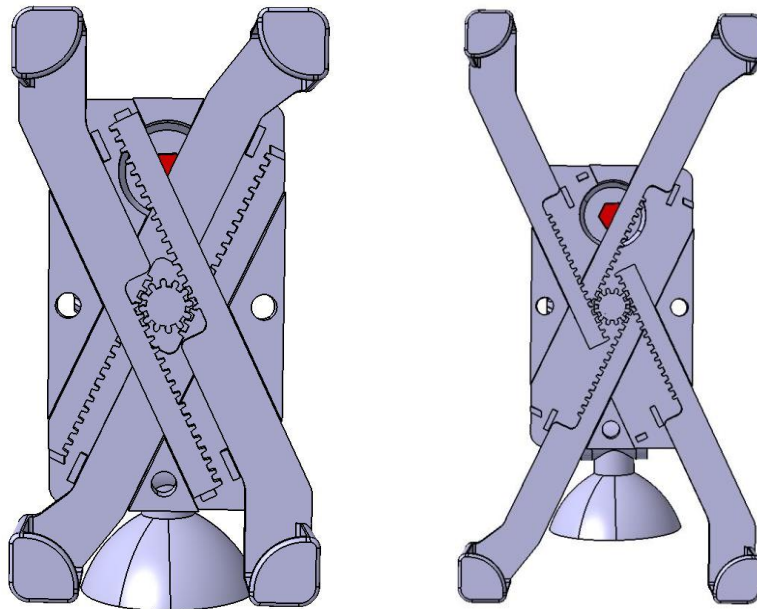


Figura 4-2: Diseño final. Interior de la carcasa.

Respecto al resto de las piezas, también fueron modificadas bastantes. En general se ha tratado de pequeños cambios, que podrían ser para mejorar la estética, prevenir algún posible fallo o según los resultados obtenidos en la fabricación. De igual forma se va a mostrar el primer diseño del soporte completo para comentar las diferencias con el final.

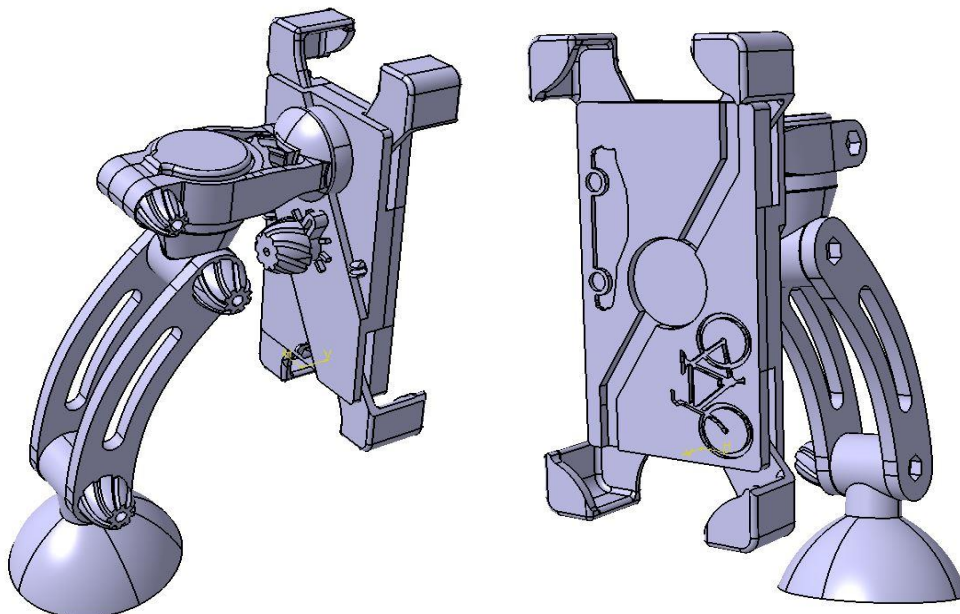


Figura 4-3: Ensamblaje del primer diseño.

Un claro ejemplo de lo comentado anteriormente es la *pieza dentada*, se le puso relieve a la parte visible, también se le puso un pequeño escalón para evitar que pudiera salir de la carcasa, gracias a un nuevo pequeño saliente en la *carcasa superior* y, tras la fabricación, la corrección de alguna longitud que se quedó un poco corta.

Otro gran cambio que puede observarse es que los *pinchos*, para el ensamblaje de la carcasa, se fabrican finalmente por separado de la *carcasa superior*, motivo por el cual la imagen del coche ha tenido que ser reducida.

Las piezas relacionadas con tornillos se pensaron realizar de dos posibles formas, unir la barra a la pieza y apretar con una tuerca o, hacer la rosca a la pieza y usar un tornillo. Por este motivo se puede ver que algunas piezas son atravesadas por el tornillo (rojo) mientras que en otras se usan tuercas (verde), estos no estaban diseñados en el primer diseño y tampoco serán fabricados. Más adelante se comentará en mayor detalle estas piezas.

Uno de los huecos donde va una tuerca es grande respecto a esta. Se ha fabricado así y se ha mantenido el diseño pero se ha usado una tuerca palometa para salvar las diferencias de tamaño y evitar volver a fabricar la pieza.

En el nuevo modelo, el tope que limita la máxima apertura se encuentra bajo las *guías*.

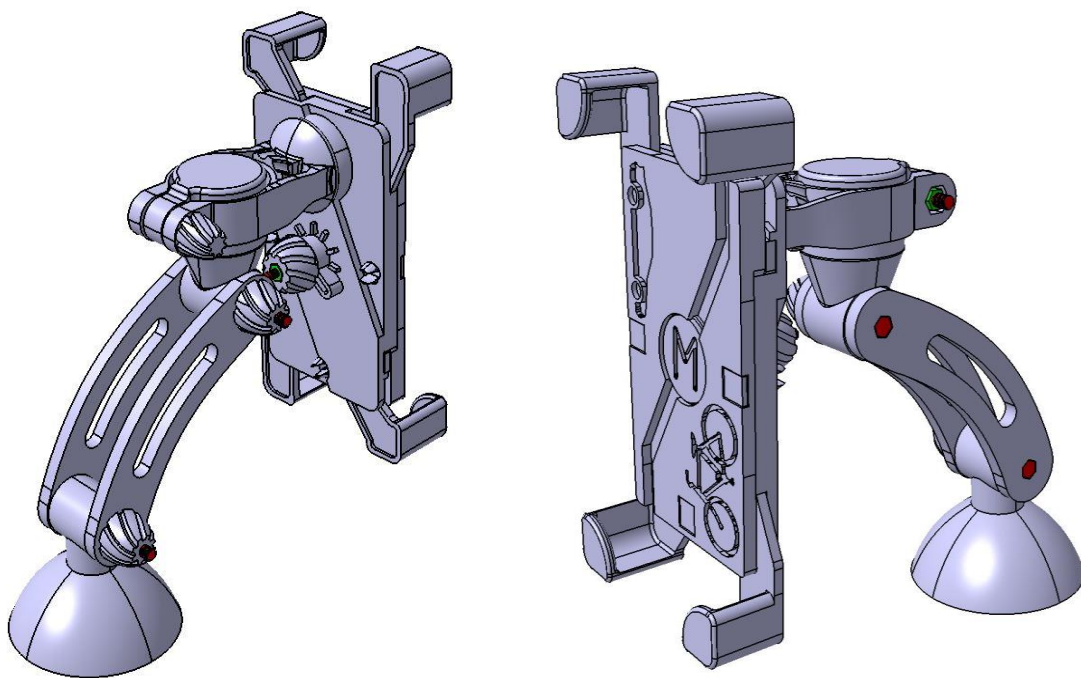


Figura 4-4: Ensamblaje del diseño final. Rojo: Tornillo Verde: Tuerca

En general, existen otros cambios más pequeños que se pueden ir leyendo a lo largo del capítulo.

4.1.1 Mejora en el diseño.

En esta parte se va a explicar una de las modificaciones realizadas y que puede pasar desapercibida sino se documenta.

Se trata de una modificación en la base inicial de la *carcasa inferior*. A grosso modo, la carcasa tiene un par de caminos en forma de X, donde irán situadas las *guías*. El diseño de estos caminos es muy influyente en los resultados finales.

En primer lugar, el centro de estos caminos debe pasar por el centro ya que es donde se encuentra el eje de giro de la *pieza dentada*, la cual engrana con las *guías*. Si esto no fuese así, se estaría complicando el diseño sin necesidad alguna.

El otro punto importante es la inclinación que tiene los caminos. Dicha inclinación no afecta al funcionamiento del engranaje pero si a la funcionalidad para la que ha sido diseñado el soporte.

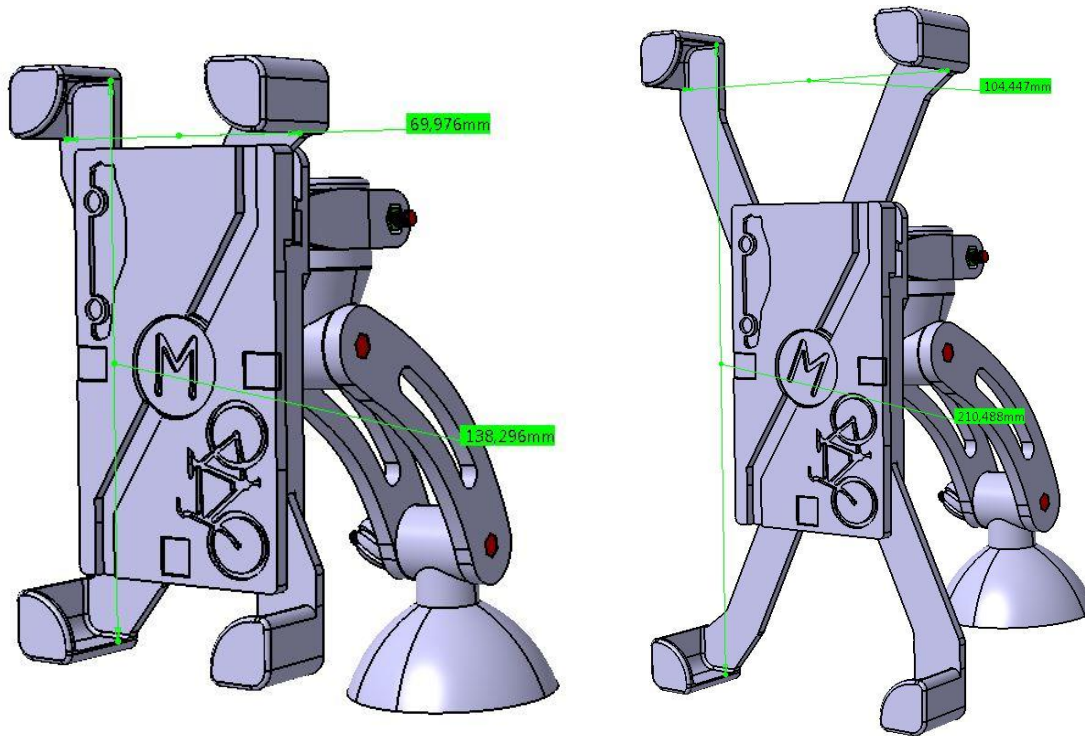


Figura 4-5: Dimensiones mínimas y máximas.

Las dimensiones mínimas son un poco altas y, en *las mejoras posibles*, se va a proponer reducirlas un poco ya que los agarres pueden apurarse bastante más hacia la carcasa. La máxima es bastante grande, en caso de necesitarlo se podría sacrificar parte de esta distancia siempre y cuando se respete lo explicado en este apartado, aproximadamente.

Para relacionar las dimensiones diseñadas con los móviles se va a utilizar el ángulo con el que se desplazan las guías. Dicho ángulo se calcula con la siguiente fórmula:

$$\tan(\alpha) = \text{ancho}/\text{largo}$$

Donde α sería el ángulo que hay entre la vertical y la línea que une el centro de la carcasa con una de las esquinas de las guías.

Las dimensiones mínimas: 138.296 x 69.976 mm. Entonces $\alpha = 26.84^\circ$

Las dimensiones máximas: 210.488 x 104.447 mm. Entonces $\alpha = 26.39^\circ$

Al aumentar el ángulo se reduce un poco el ángulo debido a la inclinación, de los caminos, que se le dio a la carcasa. A efectos prácticos esta reducción es intrascendente.

Las relaciones ancho/largo no son la misma en todos los móviles pero si son bastante próximas, como puede verse en la siguiente tabla:

Móvil	Dimensiones (mm)			Ángulo (°)
	Largo	Ancho	Espesor	$\tan^{-1}(\text{Ancho}/\text{Largo})$
Samsung Galaxy S8 Plus	152.38	78.51	7.94	27.26
Samsung Galaxy S7 Edge	150.90	72.60	7.70	25.69
Samsung Galaxy S8	140.14	72.20	7.30	27.26
Samsung Galaxy S7	142.40	69.60	7.90	26.05
iPhone 7 Plus	158.20	77.90	7.30	26.22
iPhone 7	138.30	67.10	7.10	25.88
Sony Xperia Z2	146.80	73.30	8.20	26.53
Huawei P9	145.00	70.90	6.95	26.06
Aquaris M5	143.00	69.40	8.40	25.89
LG G3	146.30	74.60	8.90	27.02
Xiaomi Mi 5	144.50	69.20	7.30	25.59
Alcatel Pixi 4	165.00	83.80	8.30	26.92

Tabla 4-1: Relaciones ancho/largo de diferentes móviles.

Haciendo las comparaciones con los móviles, se puede dar por bueno este nuevo diseño. El ángulo obtenido se encuentra en la media aunque, las dimensiones deben estar entre el mínimo y máximo, mencionados anteriormente. Por ejemplo, el iPhone 7 se encuentra casi en el límite mínimo.

En la imagen de la derecha se puede ver en rojo el diseño antiguo y, sin marcar, el diseño actual.

Al ser un ángulo inferior al obtenido y con una variación pequeña, el ángulo se reduce muy poco. Sin embargo, en el diseño antiguo es mayor, por lo que si se realiza los mismos cálculos, α debe aumentar con dimensiones mayores.

Mínimo diseño antiguo: $\alpha = 25.82^\circ$

Máximo diseño antiguo: $\alpha = 26.67^\circ$

A pesar de un menor recorrido la variación es mayor. Se debe a que la diferencia entre el ángulo mínimo y la inclinación es mayor en este caso que en el nuevo diseño.

Al ser más vertical los caminos, se aprovecha mejor el espacio y se logra un mayor recorrido de las guías lo que permite un mayor rango de dimensiones.

Mencionar también que ambos caminos deben tener el mismo ángulo, en caso contrario los desplazamientos de las guías, en valores absolutos, no serían los mismos en X e Y. En consecuencia, el móvil no quedaría bien sujeto.

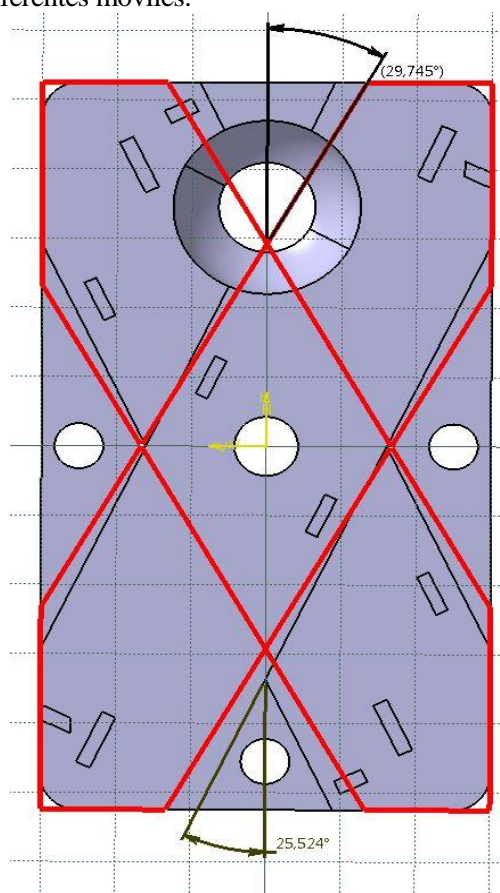


Figura 4-6: Rediseño de la carcasa inferior.

En definitiva, el ángulo α debe ser cercano a 26° . Ambos diseños se encuentran muy próximos a ese valor, siendo válidos ambos diseños. Entre los distintos móviles la diferencia es muy pequeña, apenas de 2° , por lo que se ha obviado realizar esta zona adaptable al móvil, según el ángulo mencionado.

4.2 Desarrollo de piezas

A lo largo de este apartado se analizará cada una de las piezas que constituye el soporte. Se analizará las piezas por separado y no se entrará en demasiado detalle cuando impliquen otras piezas. En el siguiente apartado, ensamblaje, se especificará en mayor profundidad los diferentes aspectos que han podido quedar poco expuestos, entre otros.

A lo largo del diseño se han producido varios cambios, comentados algunos de ellos en la evolución del diseño. En este apartado se van a describir solo las piezas finales.

4.2.1 Carcasa

La carcasa es donde se colocará el móvil, sujetados por las *guías*. Lo conforman dos piezas y encerrará el mecanismo que hará posible que el soporte sea válido para diferentes tamaños de móvil.

- **Catía:** Esta pieza está constituida por tres partes. La parte superior de la carcasa:

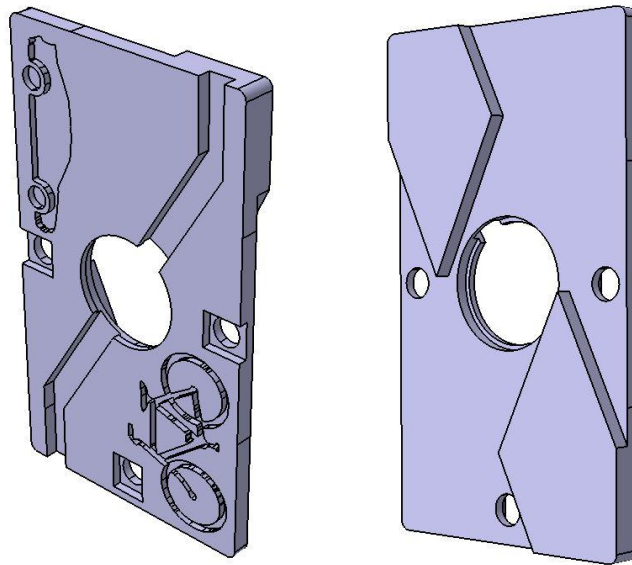


Figura 4-7: Carcasa superior.

Esta pieza sirve como tapa, para contener la posición de las piezas en su interior y realicen su función. La primera imagen es la cara que está en contacto con el móvil, no tiene ninguna función especial, el diseño depende de lo que quieras diseñar sobre esta. El agujero es estético, desde fuera podrá verse girar el engranaje pero, no tiene ninguna otra función. Se puede observar un pequeño escalón en dicho agujero, este se ha diseñado para que la *pieza dentada* no se salga del interior de la carcasa.

Por la otra cara la geometría si es importante al diseñarla. Esta se diseña para encajar con la otra pieza de la carcasa, además depende también de la posición y geometría de las piezas que van dentro de la carcasa.

Esta se ensambla con la otra parte de la carcasa,

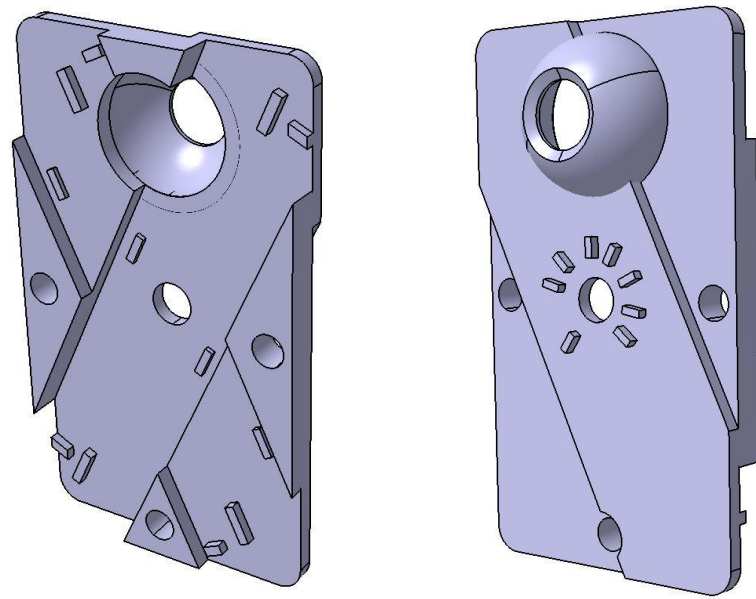


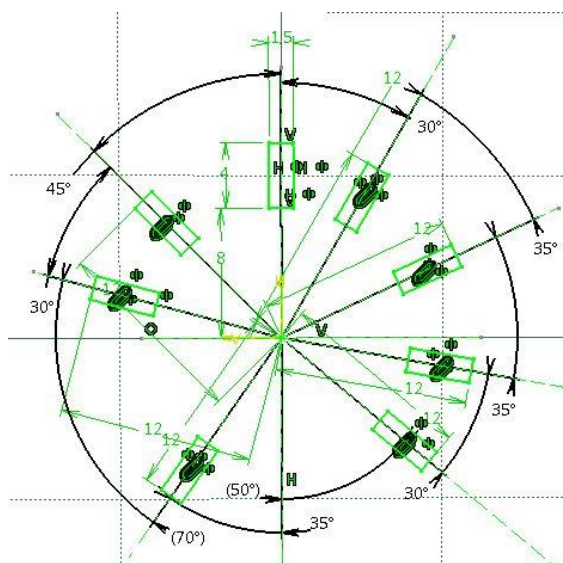
Figura 4-8: Carcasa inferior.

Al igual que ocurre con la parte superior de esta pieza, hay que tener en cuenta las piezas que van dentro de esta. Además, la forma de ensamblarla con el resto del producto. Por este motivo se especificará un poco más sobre esta geometría en el apartado ensamblaje.

Los agujeros en los laterales y en la zona de abajo son para ensamblarla con la *carcasa superior*. El agujero central es para tener acceso al engranaje y poder variar las distancias fácilmente.

Los diferentes rectángulos, de la imagen a la izquierda, son diseñados como topes, limitando los desplazamientos de las *guías* o refuerzos, para mantener a la guía en la dirección deseada. Cada guía tiene asociado tres rectángulos, uno para el refuerzo comentado, y los otros dos como tope de máxima y mínima apertura. El tope que limita el máximo desplazamiento también ayuda a que la guía no salga de su carril.

Por otra parte, los rectángulos, de la siguiente imagen, son para fijar la posición del engranaje una vez colocado el móvil.



Como se verá más adelante, “*fijar 4*” tiene que encajar en la parte hexagonal de la *pieza dentada* y, a la vez, en una de estas pestañas para bloquear el engranaje, evitando así que se gire y peligre el móvil.

El hexágono es regular, tomando un punto de referencia, cuando se gira 60° la geometría se repite, es decir, si un hexágono gira 65° , para encajar una pieza diferente a ese hexágono es lo mismo decir que el hexágono giró 5° respecto la referencia tomada.

Dicho esto, se va a intentar distribuir los diferentes rectángulos para lograr que “*fijar 4*” encaje, a la vez, en el hexágono y rectángulo en el mayor de los casos posibles.

La referencia va a ser el rectángulo vertical.

Figura 4-9: Relieves de la carcasa inferior.

El equivalente es un ángulo entre 0° y 60° . Cada vez que el ángulo, tomado desde la referencia, sea mayor que los 60° , se restarán un múltiplo de 60° para obtener el equivalente.

Por ejemplo, si el ángulo es 125° ($= 2 * 60 + 5$), el equivalente sería 5° .

Equivalente ($^\circ$)	Ángulo ($^\circ$)	Equivalente ($^\circ$)	Ángulo ($^\circ$)
5	$65 = 30 + 35$	35	$215 = 180 + 35$
10	$130 = 30 + 35 + 35 + 30$	40	$100 = 30 + 35 + 35$
15	$75 = 45 + 30$	45	45
20	$260 = 180 + 50 + 30$	50	$230 = 180 + 50$
25	$145 = 180 - 35$	55	$295 = 180 + 50 + 30 + 35$
30	30	60	0 (Referencia)

Tabla 4-2: Ángulos equivalentes. Relieves en la carcasa inferior.

Con este diseño se tiene un error de $\pm 2.5^\circ$. Este error en la práctica es irrelevante, por otra parte, las piezas se crean con un poco de holgura reduciendo aún este error.

Por último se puede observar una zona esférica. Dentro de esta se encuentra otra pieza que permitirá un giro de 360° de la carcasa sobre el resto del producto.

Y por último, se han fabricado unos pequeños *pinchos* que serán los encargados de ensamblar las dos partes.

Estos *pinchos* tienen una cabeza formada por diámetros de circunferencias mayores que los de la *carcasa inferior*. La forma de la cabeza está diseñada para facilitar la entrada del *pincho* pero dificulte la salida.

Tras el ensamblaje, se obtiene un producto que requiere de desplazamientos de piezas sobre otras, por lo que entre piezas se diseñará con un pequeño juego para facilitar dicho desplazamiento y contrarrestar errores de tolerancia en la máquina.

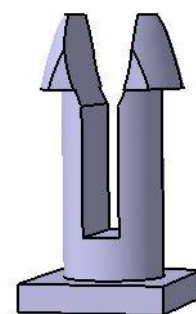


Figura 4-10: Pincho

- **Corel draw:** El diseño del coche y bici se ha realizado mediante imágenes. Se trata de una opción más para diseñar, no desarrolla ninguna función sino que es puramente estética.

Las imágenes utilizadas para el diseño del coche y bici:

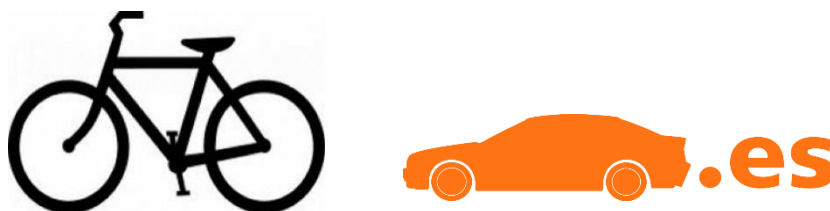


Figura 4-11: Logos diseñados en la carcasa superior.

- **Netfabb:** Al revisar la parte inferior de la carcasa, no existen errores al convertirlo a STL. Sin embargo, sí hubo problemas con la *carcasa superior*.

Siguiendo los pasos explicados en el *anexo 1* en el apartado *Netfabb* se repara de forma automática.

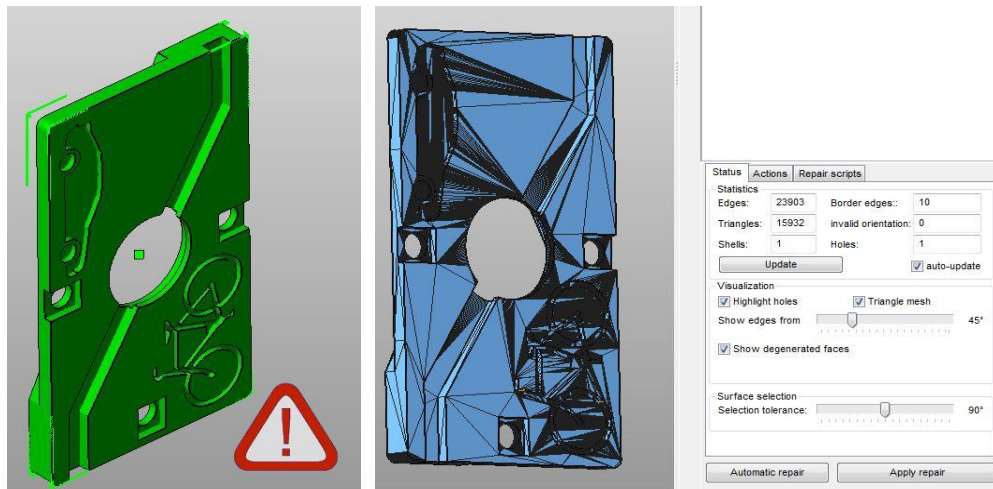


Figura 4-12: Reparación STL de la carcasa superior.

- **Cura:** El posicionamiento de la *carcasa superior* e inferior a la hora de fabricar es la que se muestra a continuación.

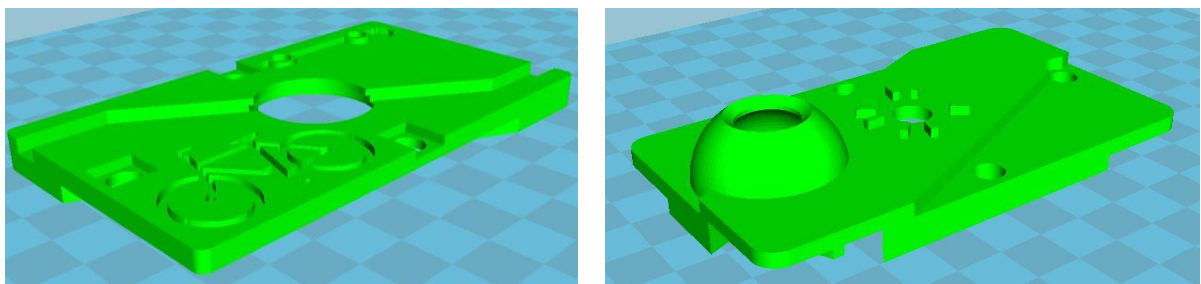


Figura 4-13: Posición de fabricación de la carcasa. Cura

En el diseño antiguo, los *pinchos* se encontraban con la *carcasa superior* en una sola pieza. En este caso se escogió otra posición.

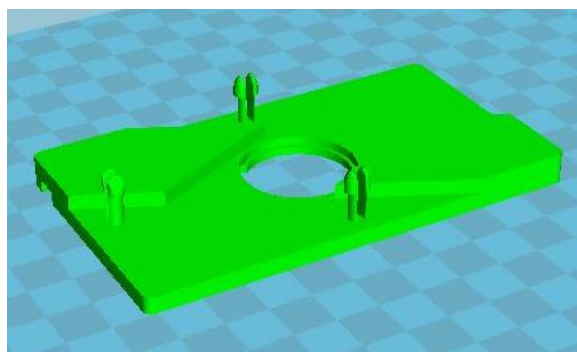


Figura 4-14: Posición de la carcasa antigua.

El aumento del tiempo y consumo de material aumenta notablemente si se posicionara la primera *carcasa superior* como la nueva fabricada. Además, era conveniente para la fabricación de los *pinchos* que esa fuese la posición. Al eliminar los *pinchos* de la carcasa, podrían existir variaciones en la posición.

Por ejemplo, otra posible posición de la nueva carcasa es la que se muestra a continuación:

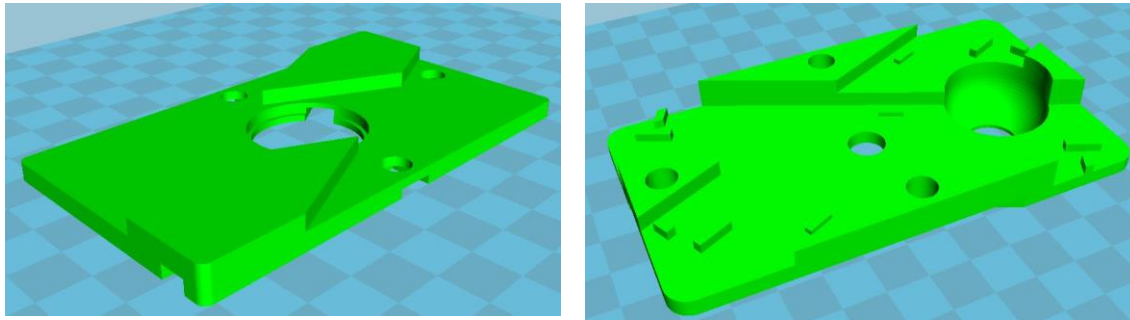


Figura 4-15: Otra posición. Cura

La *carcasa superior*, en esta ocasión puede llegar a resultar dudosa. La posición de la imagen anterior tiene menor consumo y un menor tiempo de fabricación, a priori es mejor que la escogida, sin embargo, en este caso la cara que queda por fuera se encuentra, en parte, fabricada sobre apoyos. El material de apoyo es el mismo que el de fabricación, dificultando un poco la separación apoyo-pieza y apareciendo mayor rugosidad en estas zonas.

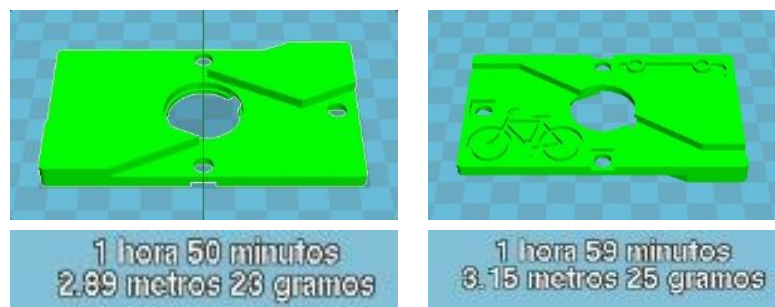


Figura 4-16: Comparación del posicionamiento de la carcasa

En esta ocasión se ha apostado por una mejor calidad en la parte expuesta a costa de una penalización en el tiempo y consumo aunque, en realidad, se perdería más tiempo en el post-tratamiento si este se realizara. La zona interior si se fabricaría en gran parte sobre apoyo pero al no verse se le resta importancia. Es un caso muy claro donde los objetivos, características y funciones de la pieza son claves para decidir la posición de la pieza.

En cualquier caso está la opción de hacer post-tratamientos.

Respecto a la *carcasa inferior*, no existe duda alguna. La cantidad de apoyo que hay que depositar es enorme, además sobre la parte expuesta de la pieza.

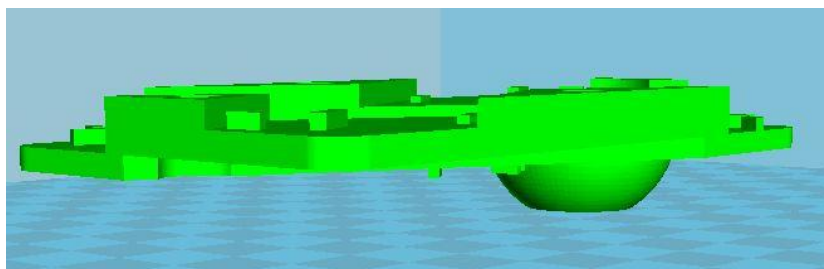


Figura 4-17: Otra perspectiva de fabricación.

Para hacerse una idea, el tiempo de fabricación aumenta aproximadamente 45 minutos y la longitud de material consumido, 0.9 metros extras.

De momento se ha mostrado la vista normal pero existen otras muchas vistas posibles, siendo muy útil la vista por capas. En esta puedes ver capa a capa la pieza y como se fabricaría, ayudándote incluso a una mejor configuración del g-code. Para más información de esta vista, o cualquier otra, mirar en *el anexo 1*, el apartado de cura.

Respecto a los parámetros de fabricación, se van a comentar todas en el apartado “*parámetros cura*”, cuando ya haya quedado expuestas cada una de las piezas que conforman el soporte.

4.2.2 Pieza dentada

Es una de las piezas que conforman el engranaje. La pieza se encuentra en el interior de la carcasa, por lo que una parte de esta pieza tendrá que sobresalir para poder girarlo.

- **Catia:** Debido a la función de esta pieza, se situará en el centro de la carcasa.

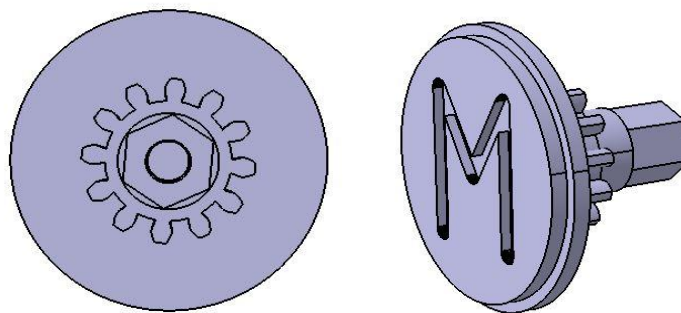


Figura 4-18: Pieza dentada.

Se puede diferenciar cuatro partes en esta pieza. La primera está a la vista debido a la geometría de la *carcasa superior*, es principalmente estética. El escalón que se observa en la imagen es para evitar que se salga fácilmente del interior de la carcasa.

Le sigue la parte dentada, la zona más crítica de esta pieza. Para su diseño es necesario definir algunos conceptos [37]:

- Definición engranaje. Conjunto de ruedas dentadas que engranan entre sí.
En este caso, la *pieza dentada* engrana con las piezas definidas como *guías* cuyo radio tiende a infinito. Se denomina **engranaje cremallera** cuando una rueda dentada engrana con otras de radio infinito, convirtiendo un movimiento giratorio en lineal, o viceversa.
- Axoides: Los axoides del movimiento relativo de dos cuerpos son dos superficies regladas, solidarias cada una con uno de los cuerpos y tales que ruedan una sobre otra sin deslizarse al moverse los dos cuerpos. El punto donde los axoides se tocan entre sí se denomina centro instantáneo relativo de rotación (CIR).

Para que no exista deslizamiento, el punto de contacto debe coincidir con el centro instantáneo relativo (I) **en todo momento**. Cuanto mayor distancia haya entre estos puntos, mayor será el deslizamiento produciendo desgaste en los dientes, pérdida de potencia y calentamiento.

Es conveniente reducir lo máximo posible estas distancias ya que, eliminar por completo el deslizamiento es posible en ruedas de fricción pero, imposible en las ruedas dentadas.

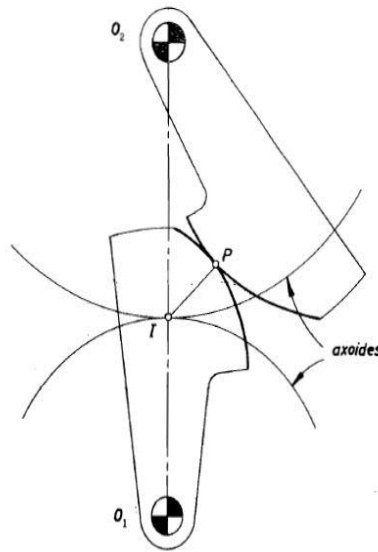


Figura 4-19: Condición de engrane de dos perfiles de dientes.

La condición de engrane, para mantener constante la relación de transmisión, es que la normal a la superficie de los dos dientes en su punto de contacto (P) debe pasar, en cualquier posición, por un punto fijo (I) de la línea de centros. Si cumple esta condición se dice que son perfiles conjugados.

- **Paso (p):** Es la distancia entre dos puntos homólogos de dos dientes consecutivos, medida a lo largo del axoide.

$$p = \frac{2\pi R}{z}$$

El radio es del axoide de la *pieza dentada* y z es el número de dientes. El número de dientes se ha escogido para que la separación entre dientes sea pequeña, aunque posible para fabricarlo mediante la impresora 3D del laboratorio.

El radio se ha diseñado en función de otras piezas, $R = 6 \text{ mm}$, mientras que el número de dientes de la *pieza dentada* es $z = 12$, coincidente con el diámetro del axoide.

$$p = \pi$$

Es importante que, para que la *pieza dentada* pueda engranar con las *guías*, tengan el mismo paso.

- **Módulo (m):** Se trata de un parámetro normalizado. Se utiliza para evitar arrastrar el factor π de la ecuación anterior.

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{2R}{z}$$

$$p = \pi \rightarrow m = 1$$

Los módulos normalizados:

MODULOS NORMALES (mm)					
(0,875)	<u>1</u>	(1,125)	<u>1,25</u>	(1,375)	<u>1,50</u>
(1,75)	<u>2</u>	(2,25)	<u>2,50</u>	(2,75)	<u>3</u>
(3,50)	<u>4</u>	(4,50)	<u>5</u>	(5,50)	<u>6</u>
(7)	<u>8</u>	(9)	<u>10</u>	(11)	<u>12</u>

Evitar los números entre paréntesis.

Los números mayores o menores se obtienen multiplicando o dividiendo los de la tabla por 2,4,8,16, etc...

Figura 4-20: Módulos normalizados.

A continuación se muestra parte de una rueda dentada, donde puede verse algunos de los parámetros comentados anteriormente.

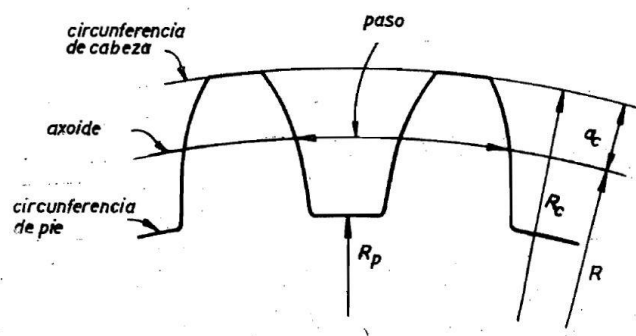


Figura 4-21: Diseño rueda dentada.

En este proyecto se quiere diseñar un engranaje cremallera:

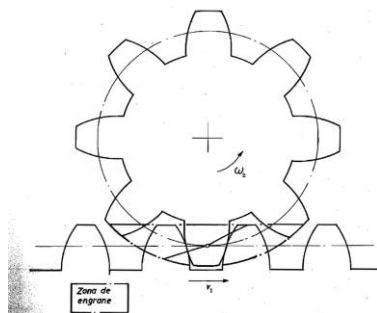


Figura 4-22: Engranaje cremallera.

Centrándose en el diseño de la *pieza dentada* para este proyecto, se trata de una pieza muy pequeña por lo que, es razonable pensar que las desviaciones que pueden existir entre las normales a las superficies en el punto de contacto y el punto I sean ridículas, siendo en la práctica irrelevante en este caso específico. Por estos motivos, no se ha considerado necesario diseñarlo para que dicha normal pase por el punto I de forma exacta sino que se ha realizado una aproximación mucho más rápida, fácil y con menos restricciones.

A esto hay que añadirle que es una pieza de plástico, barata y tiene un uso muy simple, sin apenas cargas por lo que, la idea de realizar una aproximación adquiere mayor fuerza.

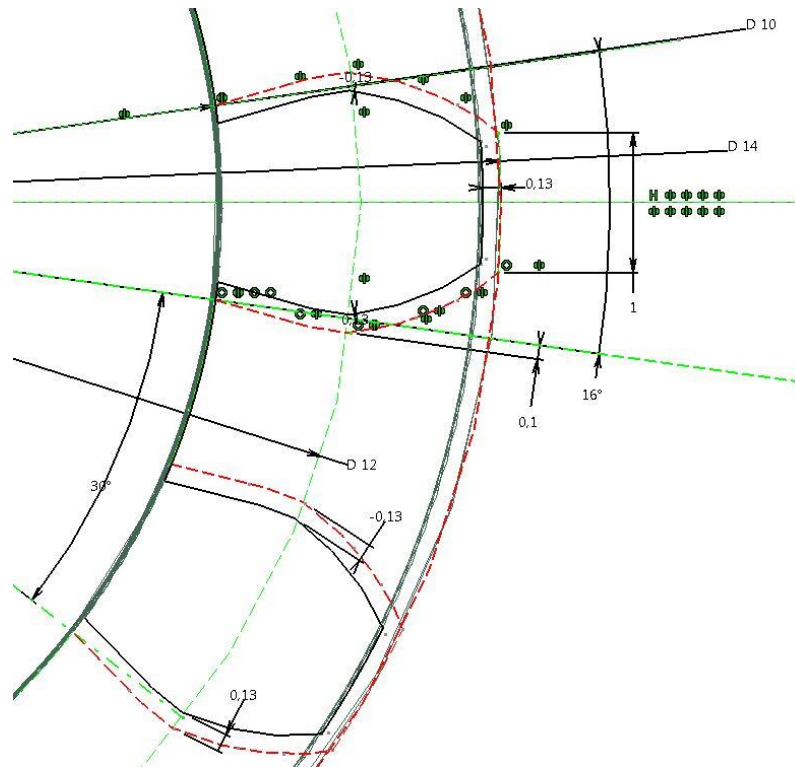


Figura 4-23: Boceto del diente de la pieza dentada.

En primer lugar se puede observar el diseño de los dientes en rojo con líneas discontinuas, este es el primer diseño para que engrane con las *guías* pero, la impresora 3D tiende a fabricar un perímetro algo mayor al diseñado. Por ello, se ha realizado un offset de 0.13mm para contrarrestarlo. De igual forma se hace en las *guías*, dando un margen de 0.26mm totales, en cada lateral. En definitiva, se diseñan los dientes con línea continua negra esperando obtener los dientes con línea discontinua roja en la fabricación, aproximadamente.

Se ha diseñado para que el contacto se produzca en la mitad del diente aproximadamente. La normal a esta superficie pasa muy próxima al centro del diente aunque, no se ha calculado para que pase exactamente por el CIR por los motivos comentados anteriormente.

En caso de que la aproximación rápida no engrane correctamente se diseñaría los perfiles conjugados de forma más exacta.

Respecto al paso, es importante que sean los mismos en todas las piezas que engranan con la *pieza dentada*. En la imagen anterior se puede observar que el ángulo de paso es de 30° .

$$\theta = 30^\circ \quad z = 12 \quad \theta = \frac{1 \text{ vuelta}}{n^\circ \text{ dientes}} = \frac{360^\circ}{12} = 30^\circ$$

Es una forma rápida de imponer que el paso, para un R dado, es: $p = \pi$

$$p = \text{Longitud circunferencia} = \theta R = 30^\circ \frac{\pi}{180^\circ} 6\text{mm} = \pi \text{mm}$$

El valor de θ hay que pasarlo a radianes.

Si se realiza un zoom en el diseño del engranaje:

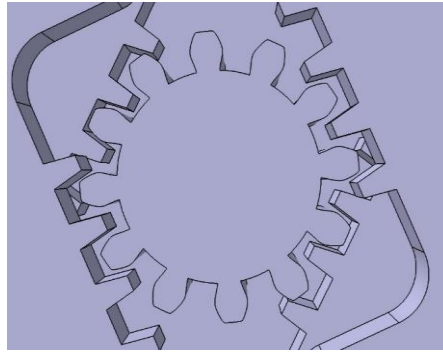


Figura 4-24: Zoom engranaje.

La tercera zona es un cilindro, para atravesar la *carcasa inferior*, seguida por un prisma hexagonal que, con la ayuda de otra pieza, permitirá el giro de esta, transmitiendo el movimiento lineal a las *guías*.

También se observa que hay un agujero en el centro. Esta es para unirla con una barra metálica con rosca, esta unión es permanente y se podría hacer con resina y/o dándole calor al plástico en esa zona.

- **Netfabb:** Se han encontrado errores en la *pieza dentada*. Los cuales fueron reparados mediante este software.

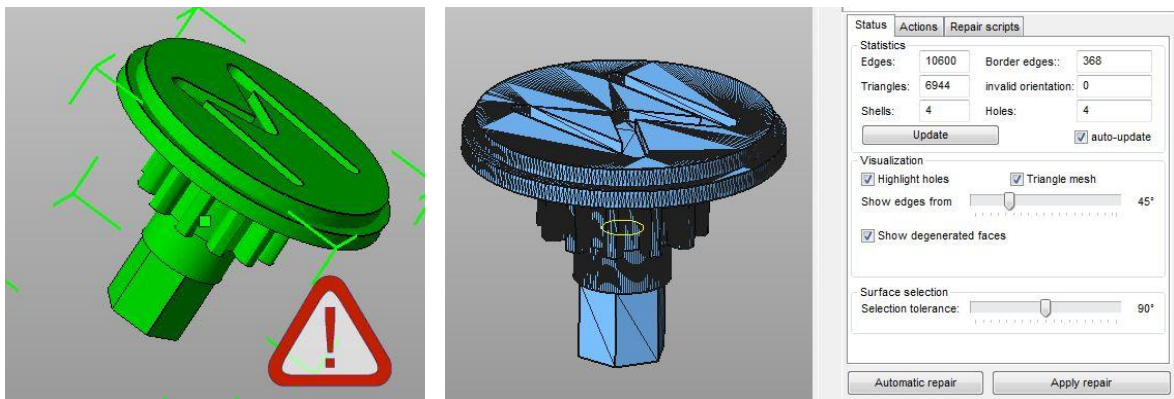


Figura 4-25: Reparación STL de la pieza dentada.

- **Cura:** El posicionamiento de esta pieza es muy simple. Otras posibilidades serían rotaciones sobre el eje Z, siendo este perpendicular a la cama de la impresora.

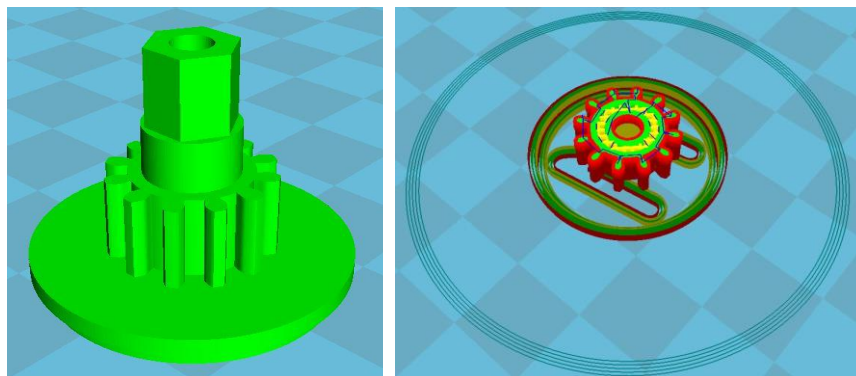


Figura 4-26: Posición de fabricación de la pieza dentada. Cura.

Es una pieza pequeña, sin mucho relleno debido a su geometría. En las primeras configuraciones se llegó a configurar maciza la pieza, 100% de relleno, porque apenas subía el tiempo ni el consumo, apenas un minuto. Al aumentar el lado del hexágono y las alturas se redujo la densidad porque el aumento de tiempo rondaba los cuatro minutos y es totalmente innecesario que la pieza fuese maciza. Aun así se ha mantenido una pieza bastante densa con un relleno del 40%, en condiciones normales este porcentaje no es habitual.

4.2.3 Guías 1

Las *guías* se encargan de sujetar el móvil por las esquinas, además pueden adaptarse al tamaño de este.

- **Catia:** La zona izquierda de las *guías* se diseña junto a la *pieza dentada*, es importante que el paso sea el mismo en ambas piezas para que encajen. El otro extremo estará por fuera de la carcasa y mantendrá fijo al móvil sobre la carcasa.

En la parte inferior de la guía se ha realizado un pequeño relieve de forma que, al llegar al tope, este no se salga de la carcasa. Además es útil para mantenerlo en su posición y el desplazamiento se realice en la dirección deseada además de ahorrar material.

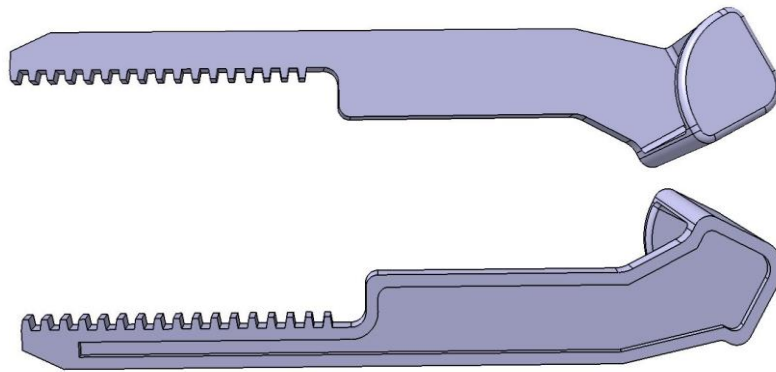


Figura 4-27: Guías 1

En total hay cuatro *guías* pero, debido a la geometría y función del producto no pueden ser el mismo diseño.

- **Netfabb:** Una vez visualizada, la pieza está correcta para la fabricación.
- **Cura:** La posición de esta pieza se muestra a continuación.

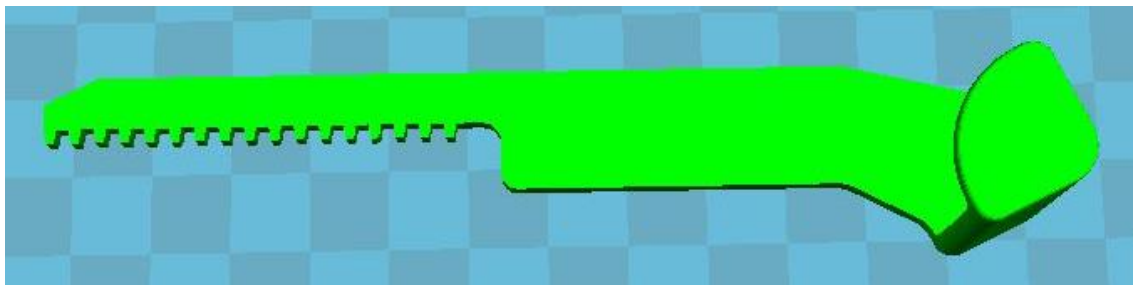


Figura 4-28: Posición de fabricación de guías 1.

También podría tomar otras opciones rotando sobre el eje Z. Apenas se modificaría los resultados obtenidos.

4.2.4 Guías 2

La función es la misma que el de las *guías 1* aunque el diseño es diferente para lograr que, en su conjunto, sea un producto funcional.

- **Catia:** Misma función pero diferente geometría que *guías 1*. La diferencia en la geometría está relacionado con otras piezas, se especificará un poco más en el apartado ensamblaje.

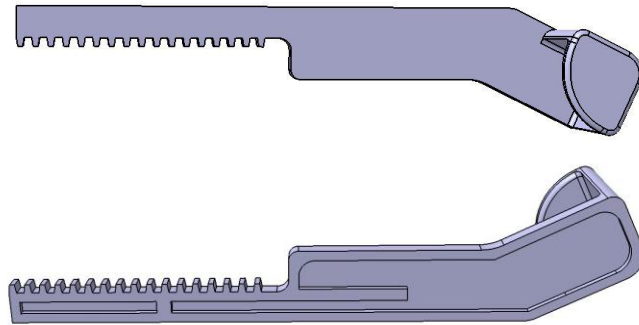


Figura 4-29: Guías 2.

- **Netfabb:** Una vez visualizada, la pieza está correcta para la fabricación.
- **Cura:** Adquiere una posición similar a la otra guía.

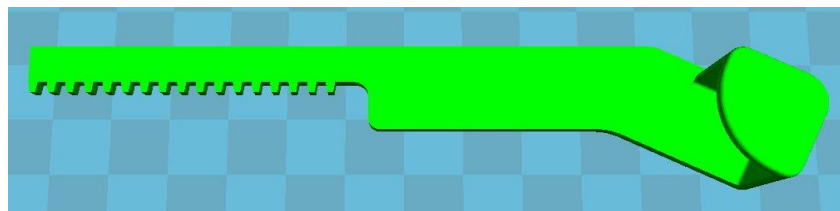


Figura 4-30: Posición guías 2. Cura

4.2.5 Semibola

Esta se encuentra dentro de la carcasa y es la que se va a unir a la siguiente pieza del producto, “*sujeción bici*”. La geometría de esta pieza va a permitir poder girar 360° la carcasa y mantenerla fija en la posición deseada. La carcasa y la *semibola* no mantienen ninguna restricción, simplemente se sitúa dentro donde la forma esférica facilitará los giros.

- **Catia:** En la parte inferior se ha diseñado un hexágono para colocar un tornillo que atravesará la pieza. En la superior, un prisma rectangular que atraviesa la carcasa y se conecta con “*sujeción bici*”.

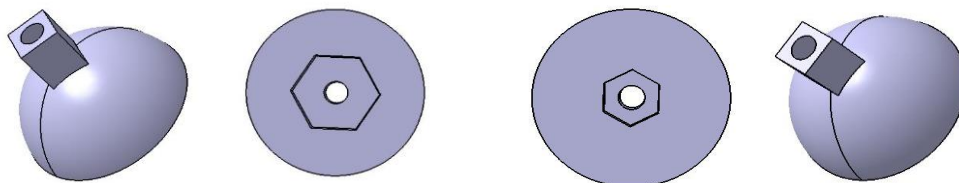


Figura 4-31: Semibola. Dos posibles opciones.

Las dos imágenes de la izquierda es el primer diseño, o primera opción, y las otras dos imágenes a la derecha son la segunda opción.

La diferencia está en el hexágono. En el primer diseño las cabezas de tornillo, o tuercas, se diseñaron grandes debido a que no se tenía en ese momento las dimensiones exactas, ni siquiera se conocía los tornillos que iban a usarse. Para resolver el exceso de hueco se relleno de un adhesivo, especial para plásticos, y lo dejó bastante bien, de hecho se ha mantenido esa solución en el proyecto.

El segundo diseño es el mismo pero con el hueco hexagonal ajustado al tornillo.

- **Netfabb:** Una vez visualizada, la pieza está correcta para la fabricación.
- **Cura:** La posición para su fabricación:

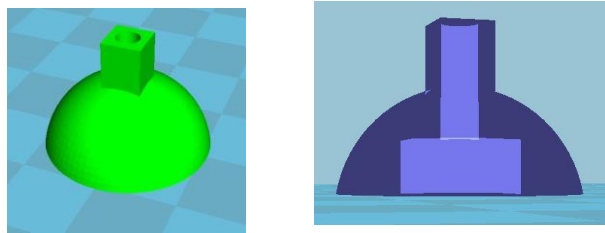


Figura 4-32: Posición de fabricación de la semibola y visión de rayos X. Cura.

Otra de las vistas posibles es la de rayos X, pudiendo ver el interior de la pieza.

4.2.6 Sujeción bici

Esta pieza se sitúa sobre la zona esférica de la carcasa y se enlazará con la *semibola* que se encuentra en el interior de esta mediante un tornillo.

- **Catia:** La pieza se sitúa sobre la zona esférica de la carcasa pero realmente se une a la *semibola*. El tornillo de la *semibola* cruzaría parte de la pieza y se fijaría con otra de las piezas fabricadas, el prisma encajaría en el vaciado del interior de la zona esférica de esta pieza.

Por otro lado, esta pieza es la que se sujetaría a la bici. Para facilitar la colocación de esta se ha reducido un poco el espesor de la zona más externa para hacerla más flexible, por el contrario, se ha aumentado la central y reforzado las esquinas para aumentar la resistencia de la pieza.

Para fijarlo a la bici, se ha hecho un vaciado en forma hexagonal para introducir un tornillo o tuerca y fijarlo con otra de las piezas fabricadas.

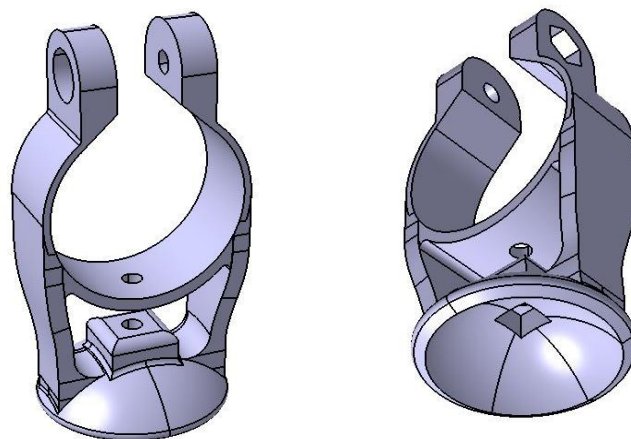


Figura 4-33: Sujeción bici.

Para mejorar el agarre del soporte a la bici, lo ideal sería fabricar una lámina con un material gomoso, por ejemplo *Filaflex*, para doblarlo e introducirlo entre esta pieza y la bici.

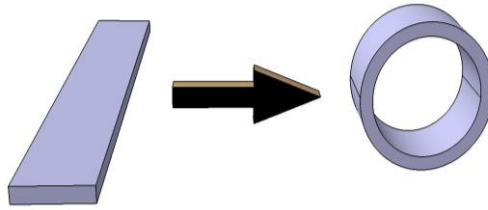


Figura 4-34: Lámina con material gomoso, o alta deformación.

A parte de la bici, también está diseñado para adaptarlo al coche utilizando otras piezas de este proyecto.

- **Netfabb:** Se han encontrado errores en la sujeción a la bici. Los cuales fueron reparados mediante este software.

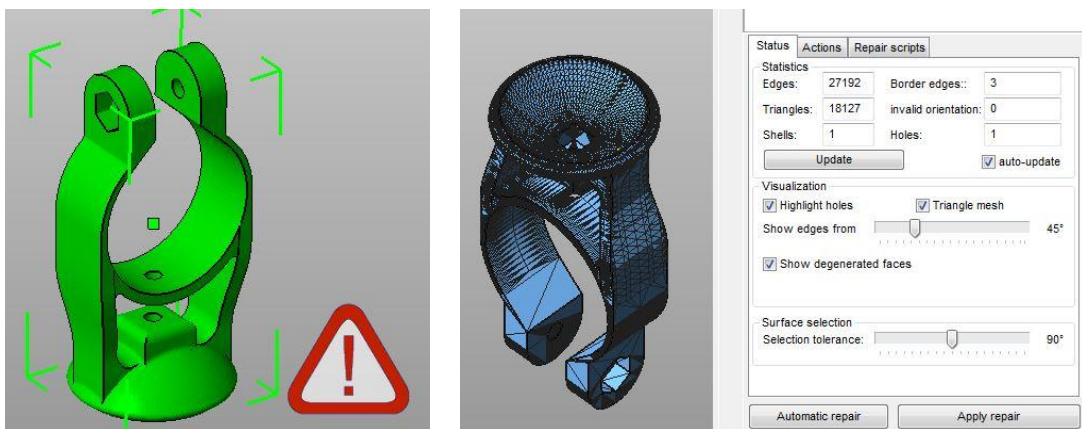


Figura 4-35: Reparación STL de la sujeción a la bici.

- **Cura:** Esta pieza es posiblemente de las más difíciles, a priori, de escoger su posicionamiento. A continuación se van a exponer diferentes motivos explicando la posición escogida.

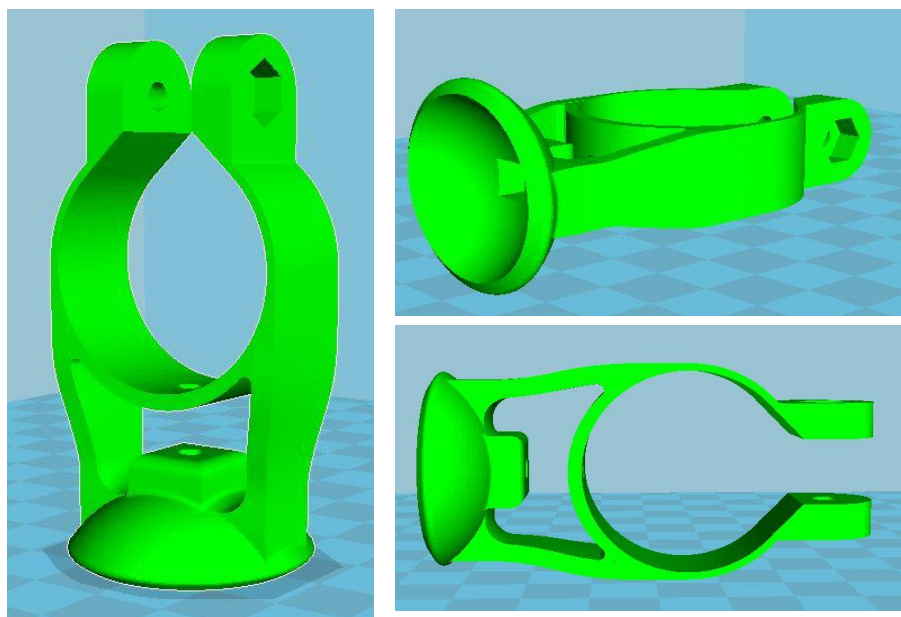


Figura 4-36: Diferentes posiciones sujeción. Cura. Elección: Imagen de la izquierda.

La pieza de la izquierda es la que menos consume y fabrica más rápido. Pero los resultados no son muy dispares. El ahorro en material es aproximadamente de 10 a 30 centímetros y 15 minutos más rápido.

La imagen es prácticamente simétrica y, la imagen de la izquierda, lo aprovecha en mayor medida. Las zonas que no están en contacto con material de apoyo, tampoco lo están en la simétrica y, las que están en contacto, también mantienen el contacto en su parte simétrica. A priori, se logra una mejor apariencia y calidad general ya que, queda peor tocar, o ver, una pieza prácticamente simétrica y tengan un tacto, y/o apariencia, diferentes.

Además la mayor parte se fabrica en el eje de mejor tolerancia, el Z. El agujero más grande está diseñado de forma similar a la gota de agua, salvo que esta no cierra por arriba, por tanto, no va a necesitar material de apoyo en esta zona si el diseño es correcto. Esto se debe a la inclinación de fabricación donde se explica en mayor detalle en el *anexo 1* del documento.

En definitiva, con la imagen de la izquierda se logra una mejor apariencia, tolerancia, reducción del consumo y tiempo de fabricación por lo que, es la posición escogida finalmente.

La siguiente imagen son diferentes diseños de esta pieza. La imagen de la izquierda, la circunferencia tiene de espesor 0.8 mm, en la derecha el espesor es de 1.2 mm.

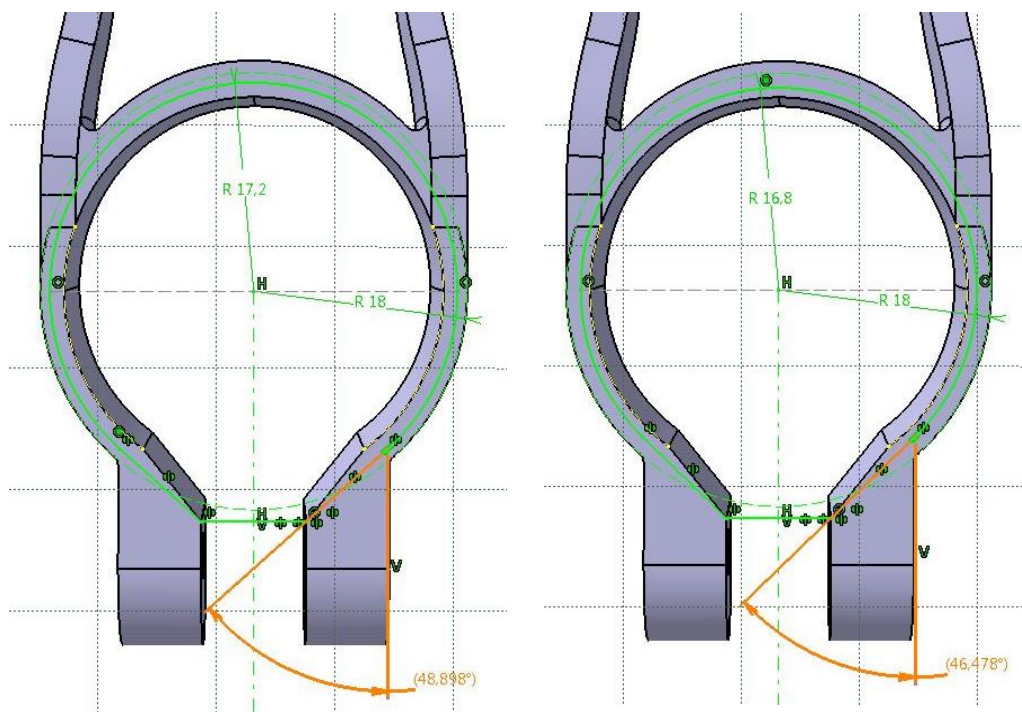


Figura 4-37: Verificación de la inclinación con la que se fabrica la gota de agua.

Ambas piezas superan el ángulo crítico, sin embargo, las dos piezas han logrado fabricarse correctamente. Es una prueba de que el valor crítico es orientativo y que depende de muchos otros factores.

4.2.7 Adaptador

Esta pieza se trata de un *adaptador* para poder usar el soporte en los coches.

- **Catia:** El diseño está pensado para modificar la geometría que se tiene en la sujeción de bici a otra para adaptarlo y sea válido para el coche.

El ensamblaje de esta pieza es muy intuitivo, la parte cilíndrica con un saliente se colocará en la sujeción para bicis y se fijará la esta pieza como si fuese el manillar de la bici. El otro extremo debe ajustarse la geometría para transformarlo en un soporte apropiado para el coche, se ensamblará con una “barra” en cada lateral y esta debe permitir girar, por ello su forma cilíndrica.

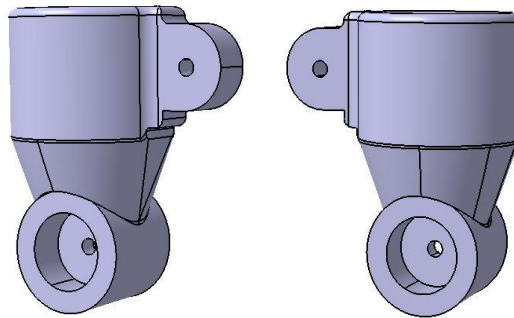


Figura 4-38: Adaptador.

- **Netfabb:** Una vez visualizada, la pieza está correcta para la fabricación.
- **Cura:** El posicionamiento del adaptador también parece bastante claro. Con esta posición te aseguras una base plana y estable para fabricar la pieza, los agujeros se levantan en Z, el eje con mejor tolerancia, y apenas necesita utilizarse material de apoyo.

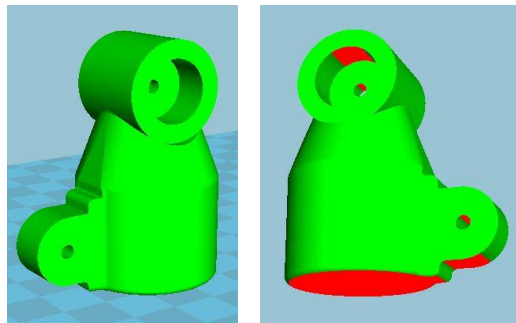


Figura 4-39: Posición de fabricación del adaptador y vista de los salientes. Cura.

4.2.8 Barra 1

El objetivo principal de estas es de conceder movilidad a la carcasa, en su conjunto, para adecuarlo como más convenga. Se puede realizar un giro en cada extremo de la *barra*, en la zona inferior sería para acercar o alejar el móvil mientras que, desde el extremo superior, se modifica el ángulo de visión del móvil.

- **Catia:** La geometría de la *barra* podría tomar diferentes formas, para este proyecto se ha decidido que tome una pequeña curvatura. Los extremos mantienen una forma circular para favorecer los giros mientras que el único objetivo del hueco, en el interior de la *barra*, es ahorrar un poco de material.

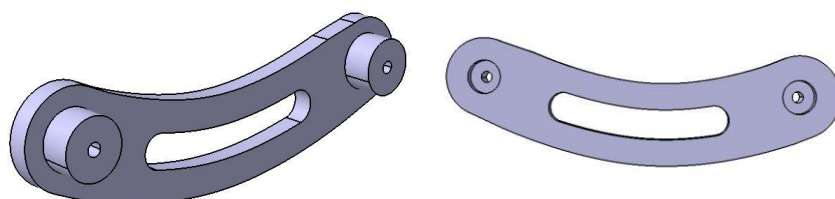


Figura 4-40: Barras 1.

Respecto a los pad, son cilindros para poder realizar los giros al introducirlo en “*adaptador coche*” y “*pie soporte de coche*”. La otra cara está pensada para fijar o permitir el giro de forma similar a lo comentado sobre la sujeción a la bici.

- **Netfabb:** Una vez visualizada, la pieza está correcta para la fabricación.
- **Cura:** Evitando el material de apoyo, la elección más acertada es la mostrada en la imagen siguiente.

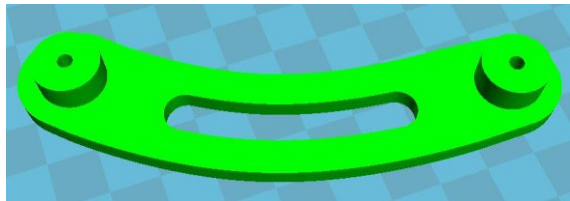


Figura 4-41: Posición de fabricación de la barra 1. Cura

Dada la geometría curva y estrecha, tampoco existen otras opciones, salvo que gire sobre el eje Z. Los resultados no variarían apenas.

4.2.9 Barra 2

La “*barra 2*” es la pareja de la comentada anteriormente. No se puede reutilizar el diseño anterior ya que, en una de las dos, necesita diseñarse la forma hexagonal del tornillo o tuerca. Además, no son simétricas, el pad debe estar en la otra cara para que fueran ambas *barras* paralelas en el conjunto, ya ensamblado. Respecto al resto de geometría, se mantienen igual en las dos *barras*.

- **Catia:** Misma función y con pequeños cambios geométricos respecto a *barra 1* para que, en su conjunto, sea un producto funcional. A pesar de ser dos piezas diferentes, se podría decir que su movimiento sería similar al de un sólido rígido, independientemente de los giros realizados se mueven de igual forma.

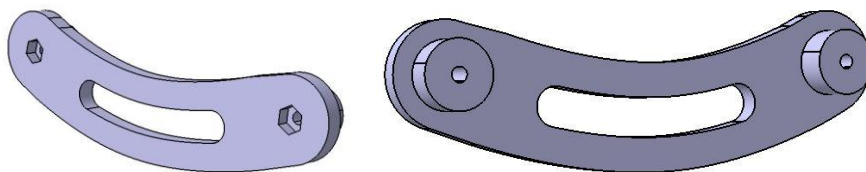


Figura 4-42: Barras 2.

- **Netfabb:** Una vez visualizada, la pieza está correcta para la fabricación.
- **Cura:** Geometría similar a la anterior. La posición, también.

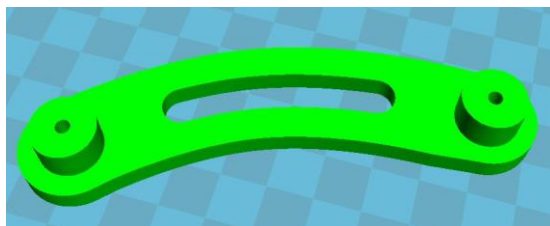


Figura 4-43: Posición de fabricación de la barra 2. Cura.

4.2.10 Pie del soporte para el coche

A esta pieza habría que añadirle una ventosa para pegarla en el coche. Dependiendo de la ventosa, la geometría de esta pieza podría variar.

- **Catia:** Se trata de una pieza muy simple. En la parte superior de la pieza se ensambla una barra en cada lateral y, en la inferior, se le añade una ventosa para fijarlo al coche.

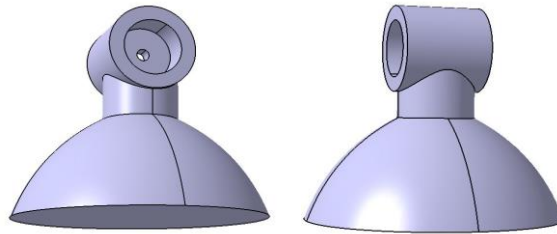


Figura 4-44: Pie soporte del coche.

- **Netfabb:** Una vez visualizada, la pieza está correcta para la fabricación.
- **Cura:** La posición es estable, base plana favoreciendo la adherencia a la cama y la fabricación de los agujeros son en el eje Z.

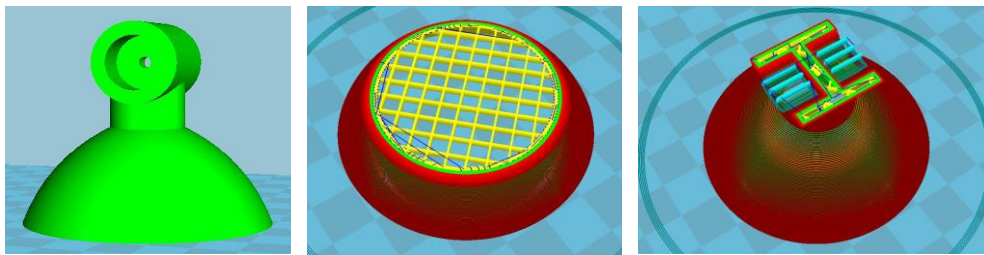


Figura 4-45: Posición de fabricación del pie del soporte para el coche y vistas de capas.

La densidad de relleno es 20%. Valores inferiores se podría pero tampoco es muy recomendable bajar mucho más. Si bajas demasiado cualquier golpe o presión, podría quebrar la pieza.

4.2.11 Fijar 1

- **Catia:** Es la encargada de fijar, o permitir, el giro producido en las *barras* fabricadas. Existen dos posibilidades de realizar la fijación, que se van a comentar en las mayorías de las piezas denominadas "*fijar*".
- 1) **Hacerle la rosca** a la pieza y, mediante un tornillo de cabeza hexagonal, realizar el apriete. El agujero será pasante para que el tornillo avance sin problemas.
 - 2) **Introducir una barra** metálica con rosca y **unirla** a la pieza. La unión podría ser con un adhesivo, resina y/o calentamiento del plástico para fundirla con la barra. También sería necesario una tuerca hexagonal para realizar el apriete. La pieza y la barra es una pieza, el agujero no se diseña pasante.

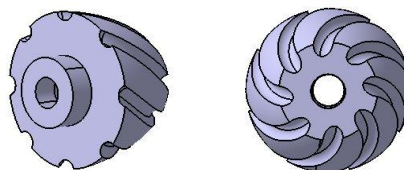


Figura 4-46: Fijar 1

En este caso, se ha decidido realizar la primera opción debido a que en la práctica se ha obtenido mejores resultados en estos casos, aprovechando que esta pieza no se ha fabricado se muestra la mejor opción posible.

La geometría de la pieza se ha diseñado con una forma helicoidal. Al tener pequeños surcos mejora el agarre al girar la pieza.

- **Netfabb:** Una vez visualizada, la pieza está correcta para la fabricación.
- **Cura:** La posición más idónea para la fabricación de esta pieza es la que se observa en la imagen siguiente.

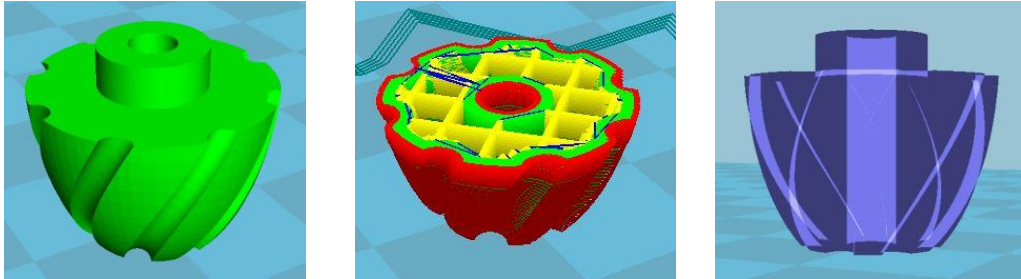


Figura 4-47: Posición de fabricación de fijar 1 con diferentes vistas. Cura.

No necesita material de apoyo ya que los salientes tienen una pequeña inclinación, lejos del ángulo crítico (42°).

Si se posicionará de forma lateral, el agujero se fabricaría en Z pero, parte del diseño helicoidal estaría en contacto con material de apoyo. No merece la pena.

4.2.12 Fijar 2

Es la encargada de fijar el soporte a la bici o a la extensión para coches.

- **Catia:** El guion seguido es similar al comentado en “*fijar 1*”. En este caso la opción mostrada es la segunda. El diseño varía levemente para adaptarlo a la pieza que se ensambla.

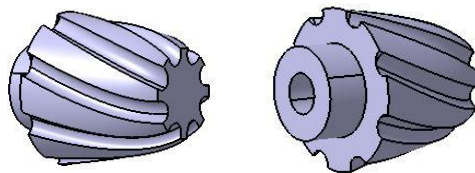


Figura 4-48: Fijar 2.

En cualquier caso, si se vuelve a realizar la pieza, se recomienda hacer las modificaciones oportunas para realizar la primera opción. Estos cambios se pueden ver en apartados posteriores.

- **Netfabb:** Una vez visualizada, la pieza está correcta para la fabricación.

- **Cura:** El razonamiento es similar al utilizado en la pieza anterior.

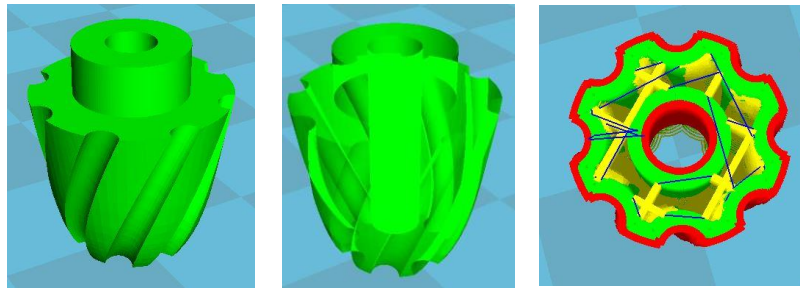


Figura 4-49: Posición de fabricación de fijar 2 y diferentes vistas. Cura.

4.2.13 Fijar 3

Es la encargada de fijar, o permitir, el giro del conjunto de la carcasa sobre el resto del producto.

- **Catia:** En este caso la segunda opción comentada en las piezas anteriores no es posible ya que se debe roscar al tornillo que está colocado en la *semibola*. Debido al reducido espacio, la geometría final queda de la siguiente manera:

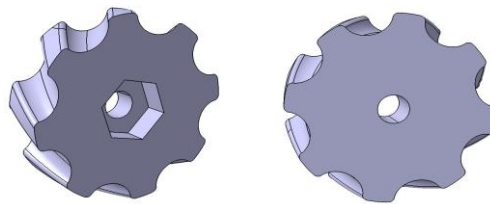


Figura 4-50: Fijar 3.

Esta pieza debe roscar en un tornillo de 3 mm. Las posibles opciones son dos:

- No es necesario diseñar el hexágono. Se le da rosca a la pieza y esta ya es la responsable de realizar el apriete. Para darle rosca, la primera pasada es bastante tediosa.
- Se coloca una tuerca en el hueco y esta es la encargada de roscar. La pieza no necesitaría rosca ya que su única función es facilitar el giro de la tuerca en el tornillo.

Ambas opciones han sido fabricadas y son factibles. El uso de una u otra es cuestión de gustos.

La forma helicoidal continua siendo por estética. La forma exterior depende del que lo diseñe, incluso podría ser un círculo, sin ningún tipo de surcos ya que no es esencial para su funcionamiento.

- **Netfabb:** En esta pieza contiene errores, resolviéndolos como en casos anteriores.

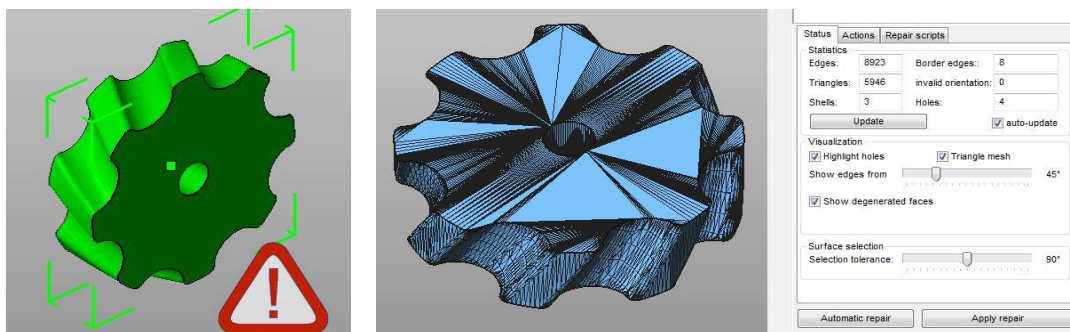


Figura 4-51: Reparación del STL de fijar 3.

- **Cura:** La posición de fabricación:

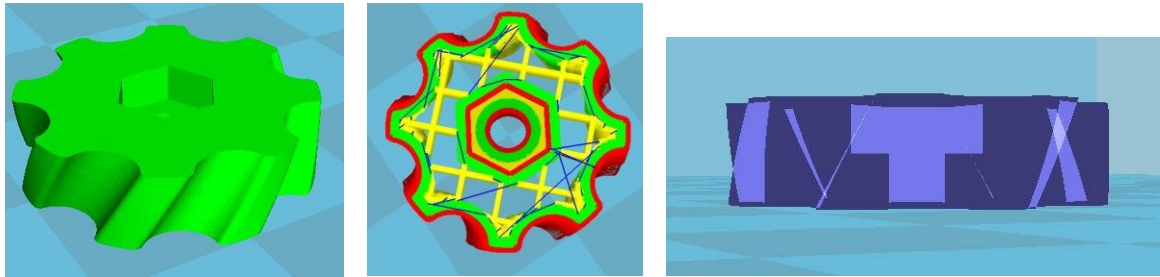


Figura 4-52: Posición de fabricación de fijar 3 y diferentes vistas. Cura.

4.2.14 Fijar 4

Este tipo de fijación cambia un poco respecto a las anteriores. En este caso se utiliza para fijar el engranaje pero necesita de otra pieza para mantenerla fija. Si la otra pieza no la mantiene fija, también puede utilizarse para girar el engranaje, para ello habría que separarlo un poco de la carcasa para evitar los relieves de esta.

Por otro lado, esta pieza es independiente al tornillo que la atraviesa. El tornillo está relacionado con la siguiente pieza, “fijar 5”.

- **Catia:** Esta pieza se encuentra por fuera de la *carcasa inferior*, en el centro. En el hexágono se encaja la *pieza dentada*, así se podrá girar la pieza fácilmente. El otro se va a utilizar para bloquear en una posición el engranaje.

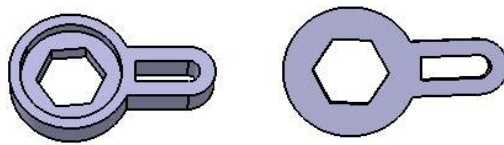


Figura 4-53: Fijar 4.

También se observa un vaciado circular, donde se introducirá otra pieza. La geometría de esta será más fácil de entender al ver el ensamblaje.

- **Netfabb:** Una vez visualizada, la pieza está correcta para la fabricación.
- **Cura:** Esta pieza también puede evitarse usar material de apoyo si se posiciona como la siguiente imagen.

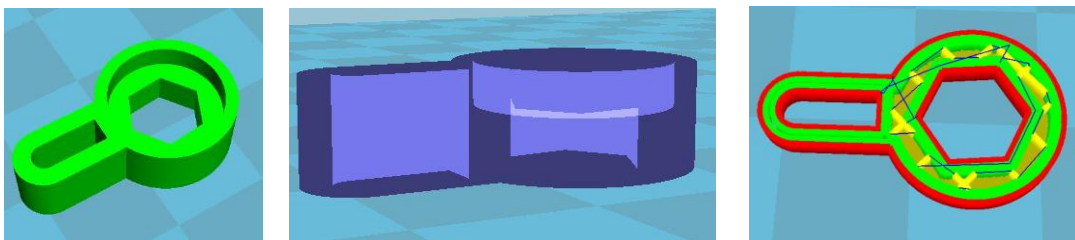


Figura 4-54: Posición de fabricación de la pieza fijar 4 y diferentes vistas. Cura.

Es importante que la parte hexagonal se fabrique sobre la base de la impresora.

4.2.15 Fijar 5

Esta pieza es la que se encarga de fijar el engranaje con la ayuda de la pieza anterior.

- **Catia:** Esta pieza es similar, en geometría, a las dos primeras fijaciones vistas, sin embargo la forma de fijar es como la tercera, la barra se encuentra en la *pieza dentada* y la única opción es realizar la rosca o ayudarse de una tuerca, tal y como se hizo en “*fijar 3*”.

Por decir una pequeña diferencia es que, en vez de usar un tornillo, se unirá una barra a la *pieza dentada*. Básicamente se repite, una y otra vez, las dos opciones comentadas en “*fijar 1*”.

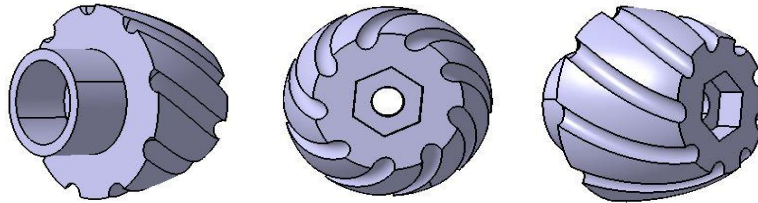


Figura 4-55: Fijar 5

Tal y como sucedía en “*fijar 3*”, se ha fabricado los dos posibles casos. Se logra una pieza con rosca o disponer de una tuerca, y usar la pieza para girarla con mayor facilidad.

- **Netfabb:** Una vez visualizada, la pieza está correcta para la fabricación.
- **Cura:** Pieza similar a “*fijar 1*” y “*fijar 2*”.

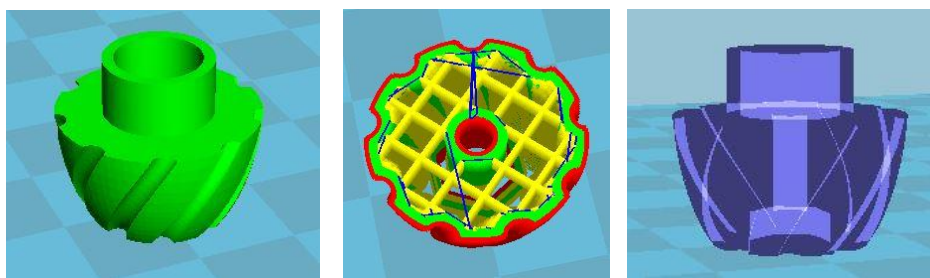


Figura 4-56: Posición de fabricación de fijar 5 y diferentes vistas. Cura.

Hasta aquí todas las piezas diseñadas, con su respectiva verificación en Netfabb y su posicionamiento a la hora de fabricar. Esta última parte corresponde a la fabricación del soporte, documentado en el siguiente capítulo, donde se detallará en mayor profundidad las configuraciones realizadas en cura, información complementaria a la mostrada aquí por comodidad y claridad a la hora de exponer el posicionamiento de cada una de las piezas, por separado.

Los planos de las piezas mostradas anteriormente se pueden ver en el *anexo 3*.

A continuación se va a continuar avanzando en el programa de diseño, realizando el ensamblaje de todas las piezas y simulaciones para verificar su funcionalidad y facilitar la explicación de su funcionamiento de forma visual.

4.3 Ensamblaje Catia

Una vez mostrada cada una de las piezas que constituye el soporte, se va a exponer cómo es el ensamblaje de cada una de estas.

En primer lugar se va a mostrar la carcasa y las piezas que se colocan en su interior.

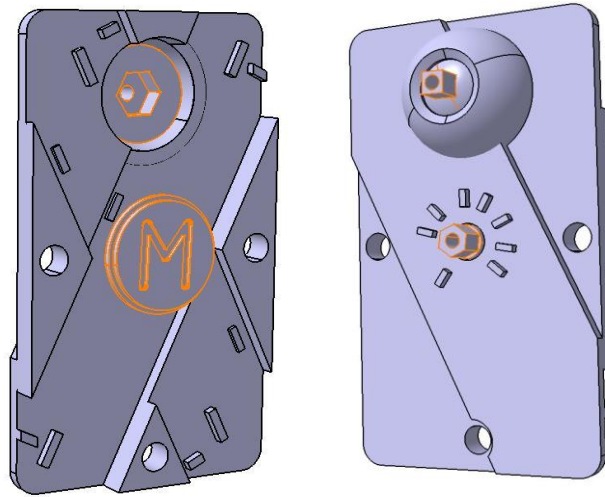


Figura 4-57: Interior carcasa (sin guías).

Tanto la *semibola* como la *pieza dentada* van unidas a otras piezas que se irán comentando más adelante, en este mismo apartado.

Por otra parte se observan como dos caminos que se cruzan formando una X, a dos alturas diferentes. Aquí es donde se colocan las *guías*.

Para facilitar la visión del engranaje, en la siguiente imagen se ha ocultado una parte de la *pieza dentada* aunque en realidad está es una única pieza.

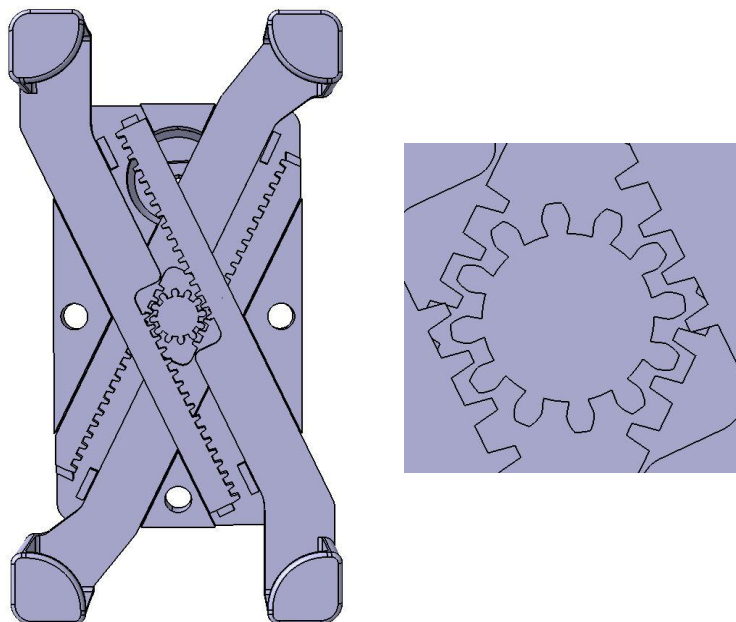


Figura 4-58: Engranaje. Interior carcasa.

La diferencia geométrica de la que se hablaba entre las “*guías 1*” y “*guías 2*” es bastante notable en la imagen anterior.

Es importante que, en todo momento, la zona que sujeta al móvil forme un perímetro rectangular donde, las esquinas de dicho rectángulo, contenga cada una de las *guías*. De cualquier otra forma, el móvil no estaría correctamente asegurado. Esto se consigue gracias al diseño logrado al pasar el centro de los caminos, comentados anteriormente, por el punto medio de la carcasa y manteniendo cierta simetría.

La inclinación de los caminos debe ser la misma, la explicación de esta está bastante más detallada en apartados anteriores, “*mejoras en el diseño*”.

De esta forma, al realizar los caminos se forman cuatro triángulos isósceles, uno de ellos incompleto debido al diseño de la zona esférica de la carcasa, pero que no influirá. La dirección de las *guías* los marca los lados iguales de los triángulos isósceles mencionados. Por tanto, el ángulo es el mismo y el desplazamiento, en X e Y, también lo es en valores absolutos, siendo el origen el centro de la carcasa y los ejes X e Y paralelos a la carcasa.

Esto se demostrará en el apartado de simulación de manera más visual.

La colocación de las *guías* también es importante. Un mal posicionamiento de las *guías* provocaría un mal funcionamiento del producto, como el comentado en el apartado evolución.

Las *guías*, que se sitúan en el escalón inferior, pueden verse una pequeña marca, o corte, en la parte dentada.

En definitiva, hay que realizar dos tipos de diseños de *guías* distintos. La manera más fácil es realizar el diseño de las *guías* junto a la carcasa una vez tengas la base hecha, y colocando todas las *guías* en un punto inicial, por ejemplo en su estado de menor tamaño. Solo quedaría rediseñar la geometría para que, cada una de las esquinas, forme un perímetro rectangular.

Mantener ese perímetro rectangular en cualquier situación se logra gracias a la geometría de la carcasa, ya comentada.

También se puede observar un pequeño corte en el extremo de “*guías 1*”. Simplemente es por aprovechar un poco más el espacio y permitir un mayor rango de dimensiones.

Desde otra perspectiva se puede apreciar mejor la posición de las *guías*.

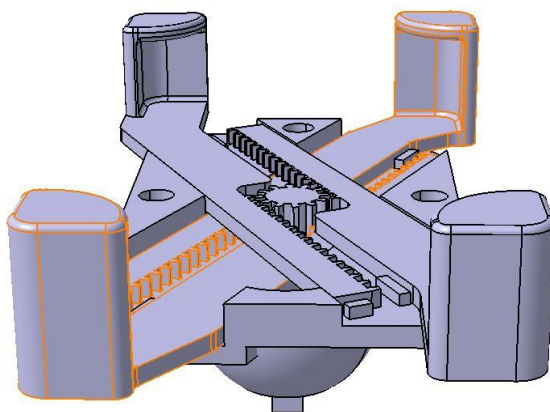


Figura 4-59: Interior carcasa. Otra perspectiva.

Las denominadas “*guías 1*”, en naranja, se sitúan a la misma altura y dirección aunque enfrentadas una respecto a la otra mientras que “*guías 2*” se encuentra un escalón por encima para no obstaculizarse con “*guías 1*”.

Al girar el engranaje, las *guías* deslizan sobre la carcasa, por tanto, al diseñarlo hay que dejar un pequeño juego para que el movimiento no sea demasiado forzado. De forma general se ha dejado 0.25 mm entre pieza y pieza.

Por ejemplo, entre la *carcasa inferior* y “*guías 1*” hay 0.25 mm de margen por la parte en la que deslizan además, entre esa misma *guía* y el siguiente escalón por donde desplaza “*guías 2*” hay otros 0.25 mm . Como resultado se tiene que si la *guía* tiene un espesor de 3 mm , entonces el escalón, por donde se mueve dicha *guía*, mide 3.5 mm . El lateral de la *guía* también tendrá margen respecto al escalón.

“*Guías 2*” vuelve a tener un juego de 0.25 mm por donde desliza, por tanto, habrá una separación entre las dos *guías* de 0.5 mm .

Este juego se va a mantener en cualquier parte donde se requiera algún tipo de movimiento entre diferentes piezas o en puntos de ensamblaje. Otro ejemplo sería el agujero por donde pasa la *pieza dentada*, donde el radio de dicho agujero es 0.25 mm mayor.

En la siguiente imagen se observa cómo quedaría el conjunto que encierra la carcasa una vez ensamblado la *carcasa superior*.

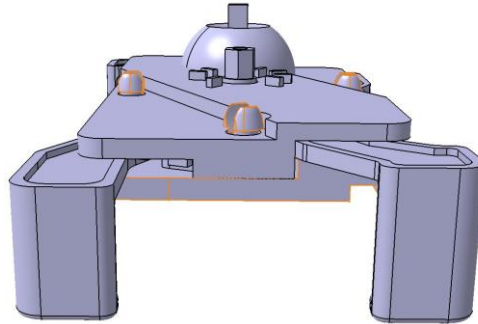


Figura 4-60: Ensamblaje carcasa superior.

La parte cilíndrica del *pincho* para el ensamblaje se ha diseñado con un radio inferior al agujero ya que se trata de un punto de ensamblaje.

La vista frontal de este conjunto:

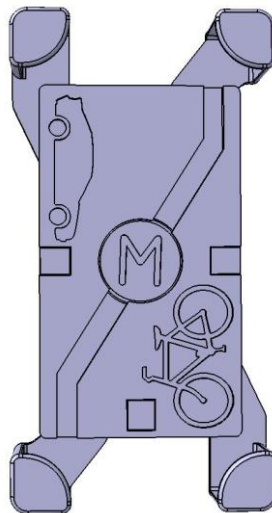


Figura 4-61: Ensamblaje carcasa superior. De frente.

Con las siguientes imágenes se va a exponer las piezas que hacen posible el desplazamiento de las *guías*. Por mejorar un poco la visión del ensamblaje se ha ocultado la carcasa en la imagen siguiente.

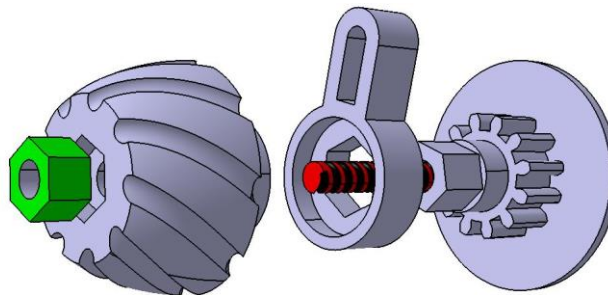


Figura 4-62: Conjunto para fijar, o girar, el engranaje.

En primer lugar, la *pieza dentada* tendrá unida una pieza metálica como ya se comentó anteriormente. Las piezas metálicas no se fabrican en este proyecto.

La pieza más próxima, “*fijar 4*”, no tiene ningún contacto con la barra. Puede moverse a lo largo de la barra donde su límite lo pone “*fijar 5*”. Se puede concluir que existe hasta tres posibles posiciones de esta pieza, cada una con diferentes funciones.

- **Pegada a la carcasa inferior.** Uno de los relieves se encuentra dentro del hueco y mantiene bloqueado el engranaje.
- **Pequeña separación respecto la carcasa.** Se salvaría el bloqueo y, además permite girar el engranaje ya que la parte hexagonal del engranaje se encuentra aún en el hueco de esta pieza.
- **Mayor separación respecto la carcasa.** En este caso el engranaje y esta pieza ya no están en contacto por lo que la pieza podría girar libremente. Esta opción es para, una vez se haya ajustado el soporte al tamaño del móvil, girar la pieza y colocarla sobre el relieve correspondiente para su posterior fijación.

La otra pieza, “*fijar 5*”, sí entra en contacto con la barra, tras la fabricación será necesario fabricarle la rosca.

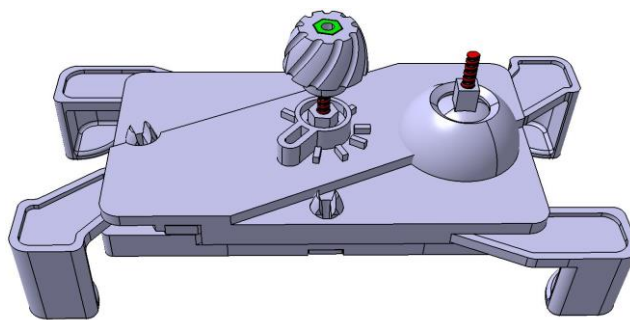


Figura 4-63: Fijando el engranaje (1).

Se puede deducir fácilmente que las *guías* pueden modificar sus distancias con los siguientes pasos:

- 1) Desenroscar “*fijar 5*”.
- 2) Levantar “*fijar 4*” manteniéndolo encajado en el prisma hexagonal.
- 3) Cuando las *guías* están en la posición correcta, se saca “*fijar 4*” del prisma hexagonal.
- 4) Se gira “*fijar 4*” para encontrar una posición coincidente con alguno de los relieves de la carcasa.
- 5) Se encaja “*fijar 4*” en el hexágono y en el relieve de la carcasa.
- 6) Enroscar “*fijar 5*” para mantener fijo el engranaje.
- 7) Repetir el proceso para modificar las distancias.

Una vez colocado el móvil sobre la carcasa y fijado el engranaje se verá algo similar a la siguiente foto.

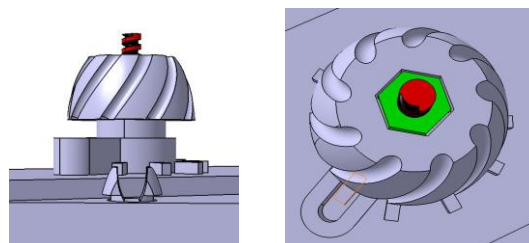


Figura 4-64: Fijando el engranaje (2).

A las piezas no se le ha dado margen en la zona de apoyo de las piezas de fijación. Sin embargo si es necesario aumentar un poco el vaciado hexagonal y circular de las piezas “*fijar 4*” y “*fijar 5*” respectivamente. Es importante para que las piezas puedan encajar correctamente entre ellas. Dicha reducción se mantiene la distancia de 0.25 mm.

En otra zona de la carcasa, se une la *semibola* con la sujeción a la bici. Por comodidad se ha ocultado la *carcasa inferior*, manteniendo la semiesfera de esta.

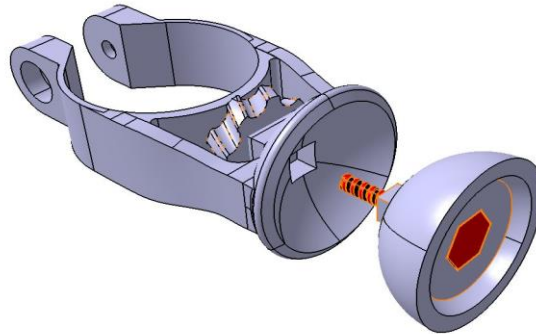


Figura 4-65: Conjunto para rotar 360° el móvil.

Para ensamblar estas piezas se necesita un tornillo de cabeza hexagonal. El ensamblaje es bastante intuitivo, el prisma rectangular de la *semibola* encaja en la sujeción de la bici, con un pequeño margen, y se aprieta mediante la pieza restante, “*fijar 3*”, para mantener la posición del soporte.

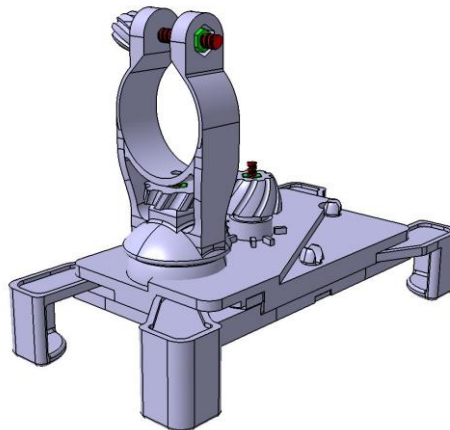


Figura 4-66: Colocando el conjunto de giro en el resto del ensamblaje.

En caso de querer girar la carcasa, en su conjunto, desenroscar “*fijar 3*”.

Se podría fabricar una lámina de un material que permita una gran deformación (gomoso), para mejorar la sujeción del soporte con la bici.

El diseño se ha realizado principalmente para el giro de 360° del móvil y acomodarlo según las necesidades. Sin embargo también es posible realizar pequeños giros respecto a otros ejes debido a la superficie esférica y al margen de movimiento como se muestra en las siguientes imágenes.

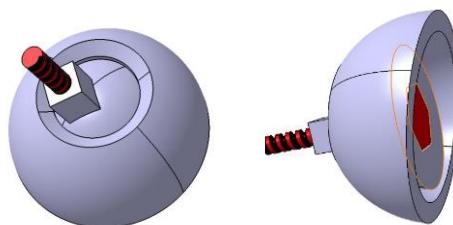


Figura 4-67: Detalle de la semibola con la carcasa.

Se puede ver que no solo puede girar sobre el eje de la semiesfera, que pasa por el centro y es normal al plano de corte de dicha esfera. Para poder realizar estos pequeños giros, se ha realizado un corte por la parte superior de la esfera en la carcasa y, además, bastante margen en el interior de la carcasa para no interferir con las *guías*

al realizar el giro reducido.

El margen también debe existir en la unión de la carcasa con la *sujeción bici* sino, lo anterior no sería útil.

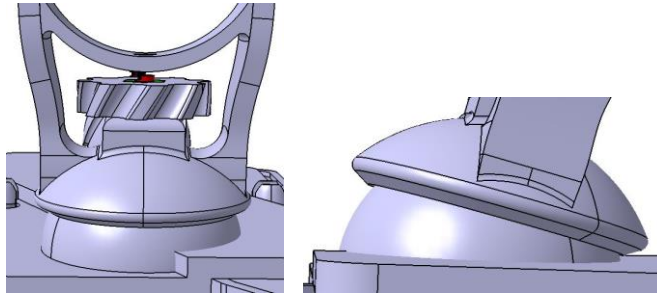


Figura 4-68: Posibilidad de lograr pequeños giros.

En definitiva, esto es útil para pequeñas correcciones.

A continuación se va a comentar la adaptación del soporte en los coches.

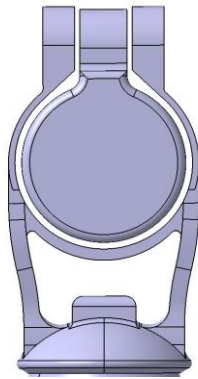


Figura 4-69: Holgura vista desde arriba.

Visto desde arriba se puede observar holgura entre las dos piezas. Esta está prevista para usar una lámina elástica para mejorar el agarre. Para la bici, también está diseñado con holgura por la misma razón.

A la derecha se muestra el resto de piezas por ensamblar el producto, completo. Se muestra la colocación de las piezas del conjunto de piezas que conforman el adaptador para el coche.

Este está compuesto por cuatro piezas más tres fijadores. Cada uno de estos fijadores está unido a una barra metálica con rosca y dos tornillos. También se necesita una tuerca.

El ensamblaje es bastante simple, el *adaptador* se coloca en la pieza "*sujeción bici*" y se aprieta con "*fijar 2*" y una tuerca. Respecto las *barras*, se colocan como se muestra en la imagen de la derecha y se aprietan con "*fijar 1*" y su respectivo tornillo.

Tanto el ensamblaje del *adaptador* como el de las *barras* con el mismo *adaptador* y el *pie del soporte* tendrán un pequeño juego de 0.25 mm para que estas encajen correctamente y facilite los posibles giros.

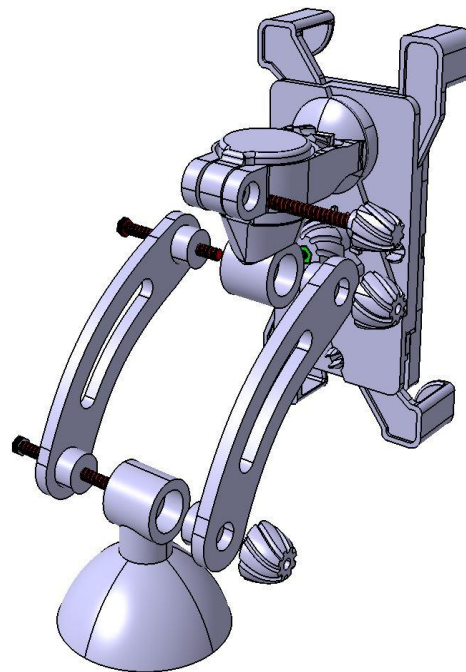


Figura 4-70: Ensamblaje del adaptador al coche

Finalmente, la pieza ya ensamblada queda de la siguiente forma:

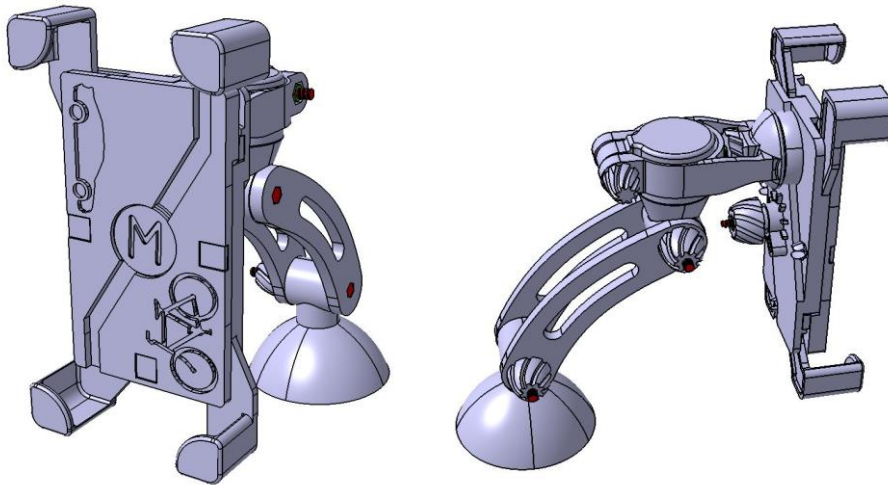


Figura 4-71: Producto complejo ensamblado.

Se ha comentado en varias ocasiones el margen que se ha dado de 0.25 mm . Esta regla se ha usado, de forma general, para realizar el primer diseño. En función de los resultados obtenidos en la fabricación se podrán realizar las operaciones oportunas.

El motivo de utilizar esta regla ha sido por experiencia. Previamente se ha fabricado con estos márgenes y las piezas han encajado correctamente. Si se tiene pensado realizar procesos de adición de material, habrá que tenerlo en cuenta en el diseño.

4.4 Simulación Catia

Al finalizar el diseño se realizó una simulación sobre lo que se esperaba del soporte, los giros que podría realizar, desplazamientos o buscar algún posible error de diseño antes de fabricarlo. El primero de ellos fue el error de posicionamiento de las *guías*, comentadas en el apartado *evolución*. Gracias a la simulación se pudo evitar la fabricación de este error en el modelo. Dicho error era que, mientras dos de las *guías* aumentaba las dimensiones, las otras dos la reducían.

Al fabricar la segunda *carcasa inferior* se pudo observar otro error, en este caso menos grave que el anterior. El relieve que ayudaba a mantener el carril de las *guías* se queda corto en un par de *guías*. Dicho relieve no se puede apurar más hacia los laterales debido a que chocaría con la curva de las *guías*, cuando estas se encuentran en el mínimo. Este no es realmente un problema porque se diseñó para tener una mayor seguridad, las *guías* mantienen bien la dirección en todo momento aunque no estuvieran estos relieves y, además, esto sucede solo para dimensiones muy grandes, en un pequeño tramo.

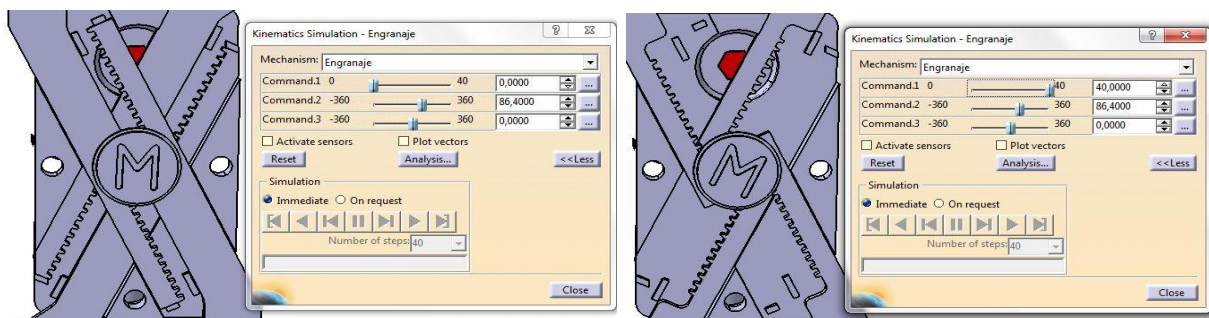


Figura 4-72: Simulación. Pequeño error detectado.

Para evitar que esto suceda habría que modificar las *guías* y, vista la pequeña gravedad, sin mejoras aparentes,

se decidió obviar esta pequeña discrepancia y fabricar la *carcasa inferior* con esta particularidad. En *mejoras futuras*, se va a tener en cuenta este detalle para que sea en todo desplazamiento de las *guías*, aprovechando que se propone una reducción del tamaño mínimo del soporte, con su respectiva modificación del modelo en las *guías*.

No se ha destacado ningún otro defecto durante la simulación.

Se ha desarrollado, principalmente, dos mecanismos:

- 1) **Engranaje:** En este se ha analizado el engrane entra la *pieza dentada* y las *guías*. Que existiera una pequeña holgura entre los dientes de ambas piezas y que, al girar la *pieza dentada*, las *guías* lo hicieran según lo esperado encajando perfectamente los dientes en todo instante.

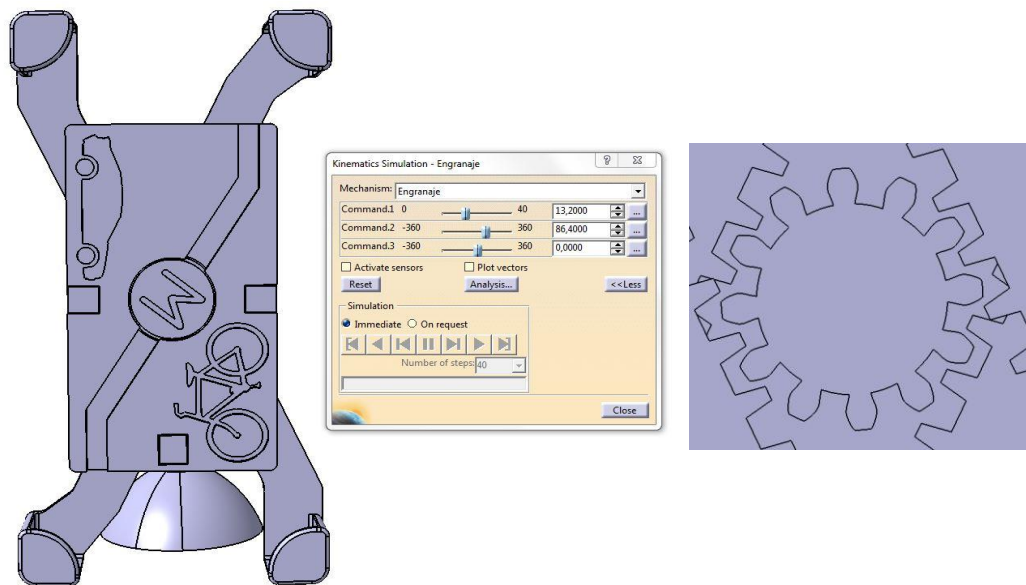


Figura 4-73: Simulación del engranaje.

- 2) **Giros:** En este se simula cada uno de los giros que puede realizar el conjunto.

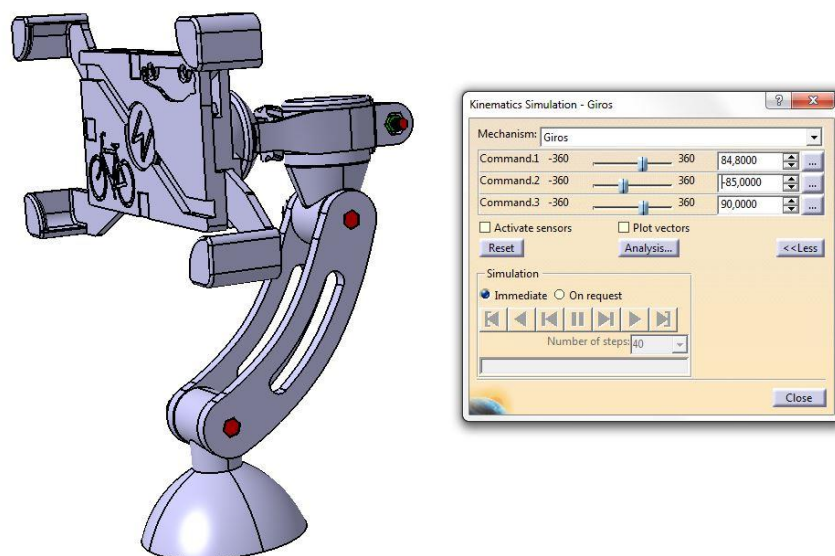


Figura 4-74: Simulación de los giros.

Este mecanismo tiene tres posibles giros como puede verse en la imagen anterior.

La posición habitual, en el proyecto, toma los valores (0,0,0).

El soporte modifica su posición al girar cada una de las *barras* de la simulación. Las dos primeras son giros en la *barra* del soporte mientras que la tercera realiza el giro de la carcasa.

También se ha realizado otras simulaciones menos relevantes en la práctica. Se trata de cada uno de los movimientos realizados para bloquear el engranaje, o permitirle el giro, los desplazamientos de cada uno de los tornillos y otros casos similares. Estas se realizaron principalmente para realizar un video de las posibilidades del diseño creado.

4.5 Listado de piezas

En la siguiente tabla se muestra cada una de las piezas fabricadas. A excepción de la última columna, todos los datos se refieren a las piezas finales. La última columna se refiere a las piezas finales y a las descartadas en el proceso.

Nº	Nombre	Cantidad	Consumo / ud.		Tiempo fabricación por unidad	Nº de piezas totales fabricadas
			grs	m		
1	Carcasa superior	1	25	3.15	1h 59min	2
2	Carcasa inferior	1	33	4.14	2h 39min	2
3	Pincho	3	-	0.06	6min	15 + 9
4	Pieza dentada	1	3	0.37	21min	3
5	Guías 1	2	8	0.98	42min	2
6	Guías 2	2	8	0.96	40min	2
7	Semibola	1	2	0.28	15min	2
8	Sujeción bici	1	13	1.65	1h 23min	3
9	Adaptador	1	19	2.34	1h 6min	0
10	Barra 1	1	11	1.38	47min	0
11	Barra 2	1	11	1.38	46min	0
12	Pie soporte del coche	1	25	3.15	1h 27min	0
13	Fijar 1	2	2	0.27	14min	0
14	Fijar 2	1	1	0.18	10min	1
15	Fijar 3	1	1	0.17	8min	3
16	Fijar 4	1	1	0.12	5min	2
17	Fijar 5	1	2	0.31	17min	4

TOTAL FABRICADO	16	225	28.43	21h 47min	50
TOTAL DEL SOPORTE	22	183	23.22	14h 53min	22

Tabla 4-3: Listado de piezas

A continuación se va a realizar algunas aclaraciones sobre la tabla anterior.

La columna de cantidad se refiere al número de piezas necesarias para montar el soporte diseñado mientras que el número de piezas totales fabricadas da el número de piezas que se ha fabricado en los laboratorios, incluyendo la final. En el caso del *pincho* se ha realizado 15 + 9, separando las piezas finales con las de prueba. Se ha realizado 15 pruebas para alcanzar la solución final más 9 *pinchos* finales, contando con recambios para los tres reales que necesita la carcasa.

El consumo es por unidad.

También se ha realizado una comparación entre lo fabricado, sin contar el adaptador al coche, y lo que realmente necesita el soporte completo. El significado de cada columna es el mismo pero haciendo una valoración final sobre esto. Por ejemplo, el modelo en Catia contiene más piezas aparte de las fabricadas ya que el adaptador al coche no se ha llegado a fabricar, por tanto, en la columna cantidad habrá menos piezas que en el total del soporte, sin embargo, en el número de piezas fabricadas será mucho mayor debido a las pruebas realizadas, principalmente en el *pincho*.

Para calcular los totales en consumo y tiempo de la fabricación se van a usar tiempos de fabricación que no están en la tabla debido a que se ha realizado algunas modificaciones en cura y en el diseño, variando el tiempo de fabricación entre las piezas finales y las no válidas o pruebas.

Los resultados de la *carcasa inferior* se refieren a los obtenidos con el último fabricado aunque, debido a los resultados, no es conveniente el cambio de apoyo realizado, reduciendo el tiempo en 13 *minutos* y el consumo 37 *cm*. Los motivos por el que se probó otra geometría en el apoyo están de forma más detallada en el capítulo de *fabricación del soporte*.

5 FABRICACIÓN DEL SOPORTE

En este capítulo se redacta todo lo relacionado con la fabricación, partiendo desde la configuración del g-code en cura.

En el capítulo anterior se introdujo el programa, mostrando el posicionamiento de cada una de las piezas mientras se analizaba todas estas. En este apartado se definirá los parámetros finales para su impresión y se mostrará todas las impresiones realizadas, comentando paso a paso todo lo realizado en el laboratorio.

5.1 Parámetros Cura

En apartados anteriores se había comentado el posicionamiento de cada una de las piezas. A lo largo de este apartado se van a definir el valor que toma los diferentes parámetros para su fabricación.

Debido a la cantidad de piezas que se tiene que fabricar no se ha podido realizar un análisis exhaustivo sobre los diferentes parámetros de cura, realizando la misma pieza con diferentes valores y destacando las diferencias. Cura tampoco es el mejor software para realizar dicho análisis, existen otros muchos programas libres que dan muchas más posibilidades a la hora de crear el g-code como Slic3r. En cualquier caso, en *anexo 1* se ha desarrollado una guía de cura especificando cada uno de los diferentes parámetros.

En la siguiente tabla se ha expuesto diferentes parámetros configurables en cura para la fabricación de la pieza. La calidad de esta dependerá de lo configurado.

- La pieza, equivalente al número de pieza, se puede ver en el apartado anterior, *listado de piezas*.
- Altura de capa (*mm*), AC.
- Espesor de pared (*mm*), EP.
- Espesor de las capas superiores e inferiores (*mm*), EC S/I.
- Densidad del relleno (%), DR.
- Tipo de soporte (—), TS
- Tipo de adhesión en la cama (—), TA

El siguiente bloque se refiere a la velocidad, *mm/s*, en diferentes casos.

- A. Velocidad de impresión.
- B. Velocidad de desplazamientos.
- C. Velocidad en la primera capa.
- D. Velocidad en el relleno.
- E. Velocidad en el borde superior e inferior.
- F. Velocidad en el borde externo.
- G. Velocidad en el borde interno.

Cada uno de estos parámetros está definido en mayor detalle en el *anexo 1*, cura.

Nº	AC	EP	EC S/I	DR	TS	TA	VELOCIDADES						
							A	B	C	D	E	F	G
1	0.2	1.2	1	25	Tocando cama	Nada	40	100	30	50	40	35	50
2	0.2	1..2	1	25	Tocando cama	Nada	40	100	35	50	40	35	50
3	0.2	1.2	1.2	30	Nada	Nada	30	100	30	40	30	30	35
4	0.2	1.2	1.2	40	Nada	Nada	30	100	30	45	30	30	45
5	0.2	1.2	1.2	30	Cualquier sitio	Nada	30	100	30	50	40	30	45
6	0.2	1.2	1.2	30	Cualquier sitio	Nada	30	100	30	50	40	30	45
7	0.2	1.2	1.2	25	Tocando cama	Nada	30	100	30	50	30	30	45
8	0.2	1.2	1.2	25	Cualquier sitio	Brim	30	100	30	50	35	30	45
9	0.25	1.2	1.2	25	Cualquier sitio	Nada	45	100	35	60	45	40	55
10	0.25	1.6	1.2	25	Tocando cama	Nada	40	100	35	55	40	35	50
11	0.25	1.6	1.2	25	Tocando cama	Nada	40	100	35	55	40	35	50
12	0.25	1.2	1	20	Cualquier sitio	Nada	45	100	40	60	45	45	55
13	0.2	1.2	1.2	25	Nada	Nada	30	100	30	50	30	30	45
14	0.2	1.2	1.2	25	Nada	Nada	30	100	30	50	30	30	45
15	0.2	1.2	1.2	25	Nada	Nada	30	100	30	50	30	30	45
16	0.2	1.2	1.2	25	Nada	Nada	30	100	30	50	30	30	45
17	0.2	1.2	1.2	25	Nada	Nada	30	100	30	50	30	30	45

Tabla 5-1: Configuración CURA.

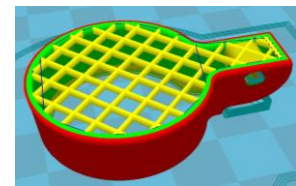
A continuación se va a realizar varias justificaciones del por qué se han optado por los diferentes valores de la tabla.

Se puede observar que la velocidad de desplazamientos se ha mantenido a 100 mm/s, en general son piezas pequeñas o que no requieren de demasiado tiempo sin estar extruyendo, los resultados apenas variarían aunque se aumentase.

Otro parámetro que se repite normalmente es la altura de capa, es una de las más influyentes en la calidad final, además afecta bastante en el consumo y el tiempo de fabricación. Lo ideal es que se mantuviera para todas las piezas, aparentando el mismo nivel de calidad. La estética no es el objetivo principal en este proyecto, por lo que se ha reducido la calidad en algunas de las piezas. Hay dos piezas que son grandes bloques y se le ha aumentado el espesor de la capa, como el *pie del soporte* o el *adaptador*, cuyas velocidades de impresión son las mayores de todo el producto también. A mayor velocidad, la deposición tiene una menor precisión, existen mayores vibraciones, en definitiva, se ha sacrificado calidad de la pieza para reducir el tiempo.

Un buen rango de velocidades para fabricar en PLA es de 30 mm/s – 60 mm/s.

Como se puede ver en la siguiente imagen, la geometría de estas piezas hace que se fabrique mucho relleno. El consumo y el tiempo de fabricación se pueden reducir jugando con la densidad de relleno, aparte de otros parámetros.



La imagen de la derecha tiene una densidad de relleno del 20%

Figura 5-1: Densidad de relleno.

Una pieza de estas características no es conveniente bajar del 20% la densidad de relleno para tener una resistencia aceptable. En la anterior imagen se aprecia que se obtiene un buen mallado en ambas piezas.

Otras piezas con calidad reducida, altura de capa de 0.25 mm, son las *barras*. Se ha añadido un espesor de pared de 1.6 mm, siendo un valor bastante alto, y una densidad de relleno del 25% que lo convierte en una pieza bastante resistente. Desde sus extremos se realizan giros del soporte y su función principal es adaptar el soporte para ponerlo en la posición que más convenga, cuanto mayor sea la *barra* más se podrá acercar o alejar pero, con menor estabilidad y mayor complejidad. En cambio, una *barra* demasiado pequeña tendría movimientos demasiado limitados. Antes de decidir esta configuración se realizaron otras como las que se ven en la imagen de la derecha:

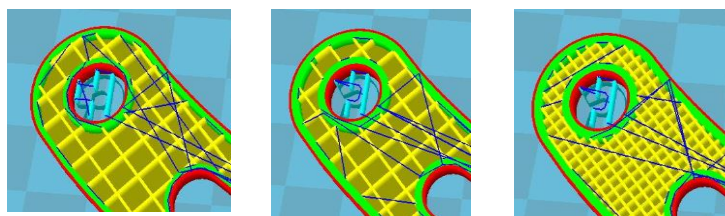


Figura 5-2: Diferentes configuraciones en cura.

Al principio se dio un valor de 1.2 mm de espesor en la pared y 20% de relleno, en la imagen central se aumentó el espesor de la pared y en, la imagen de la derecha, se aumentó la densidad de relleno. Se puede observar una notable diferencia entre la primera configuración y el último donde la penalización es de apenas unos cinco minutos y un consumo extra de 12 cm de material, según cura.

Finalmente se decidió por aumentar la altura de capa a 0.25 mm. Así, el conjunto del adaptador al coche tendría una calidad similar e inferior al resto del soporte. Este grupo se consideró un objetivo secundario del proyecto.

Se ha tenido en cuenta la finalidad de las piezas, el *adaptador* es para modificar la geometría de una zona y poder adaptarla al ensamblaje de otras piezas sobre esta mientras que, el *pie del soporte*, es para fijarlo al coche mediante una ventosa. El ensamblaje en ambas piezas, con las *barras*, es bastante simple y, además la geometría también lo es. Se puede concluir en que, es permisible una pequeña reducción en la calidad de estas si conlleva una aceptable reducción en el tiempo de fabricación, más si se considera una pieza secundaria de este proyecto.

La carcasa podría ser otra pieza interesante para reducir la calidad por sus dimensiones aunque, por diferentes motivos, se trata de una de las piezas principales del soporte, encierra a piezas fundamentales como el

mecanismo que hace posible ajustar el agarre al móvil según las dimensiones de este, está el deslizamiento entre *sujeción bici* y la *carcasa inferior*, o por detalles estéticos como las imágenes sobre la *carcasa superior*. Por estos motivos se ha querido mantener una calidad medio/alta, optando por mantener la altura de capa de 0.2 mm. En este caso el consumo de material no afecta. Tampoco sería adecuado realizar la *carcasa inferior* y superior con alturas de capas distintas ya que, a pesar de ser dos piezas distintas, acabarían unidas como si fueran solo una y, la diferencia sería notable. La velocidad de la carcasa es intermedia, inferior a las piezas comentadas anteriormente pero superior a las comentadas más adelante. La pieza en sí es simple de fabricar, la complejidad llega al ensamblar todas las piezas, donde debe encajar todo y permitir desplazamientos en su interior.

La siguiente tabla muestra algunos de los resultados hasta alcanzar la configuración mostrada en la tabla anterior. Los resultados de la última columna son los obtenidos con los valores escogidos finalmente.

		Calidad medio-alta	Aumentando la velocidad	Aumento la AC a 0.25 mm
ADAPTADOR	<i>Tiempo de fabricación</i>	1h 35min	1h 23min	1h 8min
	<i>Reducción de tiempo</i>	-	12min	15min
	<i>Total</i>	27 min		
PIE SOPORTE	<i>Tiempo de fabricación</i>	2h 5min	1h 48min	1h 27min
	<i>Reducción de tiempo</i>	-	17min	21min
	<i>Total</i>	38min		
BARRAS 1 Y 2	<i>Tiempo de fabricación</i>	1h 3min / barra	58 min/barra	47min/barra
	<i>Reducción de tiempo</i>	-	5 min/barra	11 min/barra
	<i>Total</i>	16min X 2barras = 32 minutos		
CARCASA INFERIOR	<i>Tiempo de fabricación</i>	3h 14min	2h 39min	2h 9min
	<i>Reducción de tiempo</i>	-	25min	30min
	<i>Total</i>	25min		
CARCASA SUPERIOR	<i>Tiempo de fabricación</i>	2h 20min	1h 59min	1h 35min
	<i>Reducción de tiempo</i>	-	21min	24min
	<i>Total</i>	21min		

Tabla 5-2: Reducción de tiempo.

Cómo se mencionó anteriormente, la carcasa se fabricó con una altura de capa de 0.2 mm por lo que no se ha aplicado la reducción de tiempo de la última columna.

Los parámetros en cada una de las columnas varían ligeramente en cada caso pero es útil para observar cómo varía el tiempo de fabricación y reforzar los motivos comentados anteriormente.

Como se ha podido observar, no siempre prioriza el tiempo o consumo sino que a veces es importante conocer la pieza y su función u objetivos.

Respecto a la *pieza dentada*, en las primeras impresiones era completamente maciza. Es una pieza pequeña y que, con su geometría, era prácticamente maciza al depositar el espesor de pared. Por este motivo se decidió darle el 100% de densidad, aumentando el tiempo apenas un minuto. Tras la verificación del diseño en la carcasa se tuvo que la longitud del engranaje era pequeña, necesitando ser rediseñada. Tras esta modificación el tiempo de fabricación aumentaba en cuatro minutos, motivo por el cual se redujo hasta el 40%, mostrado en la tabla.

Con las *guías*, sucede algo similar debido a la geometría, en este caso el aumento de tiempo es de 4 minutos por *guía*. Al ser cuatro *guías* no es rentable ya que, con un 30% la pieza es muy resistente.

Debido a la función que realizan, las velocidades se han mantenido bajas. En los dientes de ambas piezas se manejan espesores muy pequeños, cercanos al milímetro, la precisión es importante.

Otras piezas como las denominadas “*fijar*” o “*semibola*” son pequeñas y su tiempo de fabricación, también. En este caso, las velocidades son pequeñas ya que el tiempo de fabricación apenas se modifica. Además, varias de estas piezas tienen una pequeña inclinación y no se ha utilizado soporte aunque se mantienen lejos del ángulo crítico.

Posiblemente de las piezas más complejas de fabricar, junto a los *pinchos* para ensamblar la carcasa, es la *sujeción bici*, por su geometría.

Las velocidades de fabricación se mantienen bajas debido a la geometría compleja principalmente en la zona superior. De esta forma se podría intentar evitar usar soporte para su fabricación. La inclinación está por encima del ángulo crítico y, como se comenta en el *anexo 1*, afectan varios factores de los cuales uno es la velocidad de fabricación.

En principio los *pinchos* estaban unidos a la *carcasa superior* por lo que la configuración, al realizar las pruebas, era exacta a esta. En el momento que se decidió separar los *pinchos* de la carcasa, la configuración cambió a la que se mostró en la tabla. A pesar de reducir la velocidad, entre otras, el tiempo de fabricación o consumo no variarían apenas debido al reducido tamaño de este.

Hasta el momento se ha comentado parámetros muy específicos sobre cada una de las piezas, a continuación se va a comentar brevemente aspectos más generales. Para información más detallada sobre los parámetros de cura, ver el *anexo 1*.

Las piezas, en este proyecto, se van a fabricar con una temperatura del extrusor de 215° y temperatura de cama de 45° mientras que la velocidad estará comprendida entre los 30 y 60 mm/s dependiendo de la zona donde este depositando el material. Los desplazamientos sin extruir material pueden ser mayores.

Algunos valores de la pestaña avanzado son el tamaño de la boquilla, 0.4 mm, la retracción se realiza a una velocidad de 45 mm/s y una distancia de 3.5 mm. El espesor de la capa inicial de 0.2 mm y el 100% del ancho de la línea. No se va a realizar ningún corte ni superposición de extrusión dual, tomando el valor 0.

Respecto a las velocidades, de la pestaña *avanzada*, se ha mantenido la misma o inferior en la primera capa con respecto a la velocidad de impresión por temas de adherencia. Las capas exteriores están relacionadas con el acabado de la pieza, por lo que no se ha elevado demasiado, en general, este valor es algo inferior a la velocidad del perímetro interno. Respecto al relleno, la velocidad puede aumentarse en comparación con las otras velocidades para reducir el tiempo de fabricación.

Los valores de configuración experto se han mantenido igual en todas las piezas. Solo se realizó una modificación en la parte del apoyo cuando se fabricó por segunda vez la *carcasa inferior*. Los resultados en este caso están documentados cuando se realizó la fabricación de la carcasa, en el apartado *fabricación*.

Dicho esto, su puede diferenciar dos tipos de calidades en el producto. El soporte del móvil para bicis, con una calidad medio-alta y el adaptador completo para el coche, con una calidad medio-baja. Hay que tener en cuenta que es una fabricación para exponer en un proyecto universitario donde la calidad, para este fin, es más que

suficiente. También se realizará post-tratamiento en aquellas piezas que lo requieran. Los valores de la configuración experta se muestran en la siguiente imagen.

Retracción	
Viaje mínimo (mm)	1.5
Habilitar peinado (combing)	All
Mínima extrusión para retraer (mm)	0.02
Mínima extrusión para retraer (mm)	0.0

Falda	
Numero lineas	5
Distancia de inicio (mm)	15
Mínima longitud (mm)	150.0

Ventilación	
Ventilador desde la altura (mm)	0.5
Velocidad ventilador min (%)	100
Velocidad ventilador max (%)	100
Mínima velocidad (mm/s)	10
Cool head lift	<input type="checkbox"/>

Relleno	
Relleno solido superior	<input checked="" type="checkbox"/>
Relleno solido inferior	<input checked="" type="checkbox"/>
Superposición relleno (%)	15

Soportes	
Tipo de soporte	Lines
Ángulo saliente de apoyo (grados)	60
Cantidad de relleno (%)	15
Distancia X/Y (mm)	0.7
Distancia Z (mm)	0.15

Magia negra	
Espiralizar el contorno exterior	<input type="checkbox"/>
Sólo seguir superficie de malla	<input type="checkbox"/>

Borde (Brim)	
Cantidad de bordes	20

Borrador (Raft)	
Margen extra (mm)	5.0
Espacio entre lineas (mm)	3.0
Grosor de la base (mm)	0.3
Ancho de la linea base (mm)	1.0
Espesor interfaz (mm)	0.27
Ancho de linea de la interfaz (mm)	0.4
Capa liviana	0.0
Primero capa liviana	0.22
Capa de superficie	2
Espesor de la capa de superficie (mm)	0.27
Ancho de la capa de superficie (mm)	0.4

Corregir horrible	
Combinar todo (Tipo-A)	<input checked="" type="checkbox"/>
Combinar todo (Tipo-B)	<input type="checkbox"/>
Mantener caras abiertas	<input type="checkbox"/>
Costura amplia	<input type="checkbox"/>

Ok

Figura 5-3: Configuración experta en cura.

Una vez obtenido el G-code, el siguiente paso es la fabricación de cada una de las piezas.

5.2 Fabricación

En este apartado se va a documentar todo aquello realizado en los laboratorios. Se va a presentar la impresora y su funcionamiento, además de todas las acciones realizadas para obtener cada una de las piezas, tanto las de prueba como las finales.

5.2.1 Impresora 3D

La impresora que se ha usado a lo largo del proyecto es la siguiente:

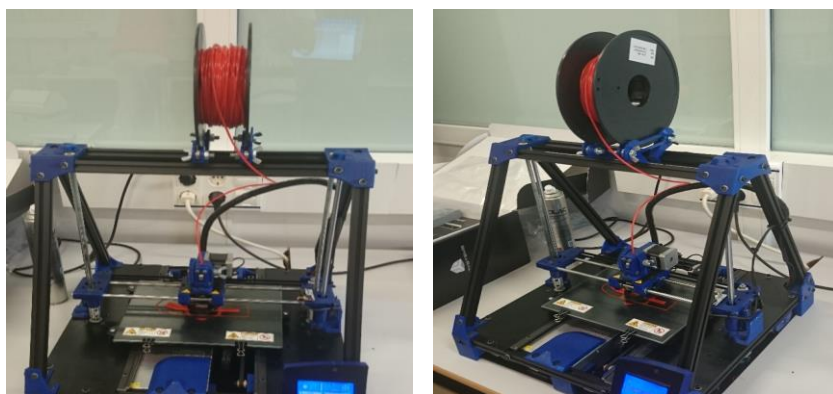


Figura 5-4: Impresoras 3D de los laboratorios de la ETSI.

Los datos a introducir en cura para esta impresora:

Ajuste de la máquina		Tamaño cabezal de impresión	
Pasos extrusor por 1 mm de filamento	0	Tamaño de la cabeza hacia X min (mm)	0
Máxima anchura (mm)	250	Tamaño de la cabeza hacia Y min (mm)	0
Maxima profundidad (mm)	210	Tamaño de la cabeza hacia X max (mm)	0
Máxima altura (mm)	200	Tamaño de la cabeza hacia Y max (mm)	0
Numero extrusores	1	Altura pórtico (gantry) de la impresora (mm)	0
Cama caliente	<input checked="" type="checkbox"/>	Ajustes comunicación	
Centro de la maquina 0,0	<input type="checkbox"/>	Puerto Serial	AUTO
Construye forma de área	Square	Velocidad	AUTO
GCode Flavor	RepRap (Marlin/Sprinter)		

Figura 5-5: Valores de las características de la máquina en cura.

El área de impresión de la máquina utilizada es de 250x210x200 mm.

5.2.2 Puesta en marcha de la impresora 3D

En este apartado se va a mostrar el uso de la pantalla de la impresora y los pasos para fabricar las piezas, de manera visual, para la impresora utilizada. El proceso general está bastante más detallado en el apartado protocolo.

Para comenzar, la pantalla de la impresora:



Figura 5-6: Pantalla impresora 3D.

En general, se muestra la pantalla de información. Algo importante son las temperaturas, las de arriba depende del material que selecciones al calentar la máquina y, la de abajo es la temperatura actual del extrusor y cama. Antes de comenzar la impresión es importante que estas sean las mismas o muy cercanas ya que suelen oscilar un poco.

La siguiente línea de información es la velocidad, que puedes modificar al girar la rueda, un emoticono que muestra el estado de la impresión, y la altura del extrusor.

También puede observarse que se está imprimiendo en el momento de la foto, que lleva un 6% fabricado en dos minutos.

Por otra parte, está la rueda. Se gira para escoger entre las diferentes opciones o realizar acciones, como la de mover alguno de los ejes. Cuando se pulsa, seleccionas la opción marcada.

Para poner en marcha la impresora, lo primero que hay que hacer es encenderla. Abajo a la izquierda se encuentra el interruptor.

Al encenderse la pantalla, aparece la información actual. Al no realizar aún nada, el extrusor se encuentra a temperatura ambiente. Pulsando la rueda, cambias de pantalla principal.



Figura 5-7: Pantalla de información inicial y principal.

El siguiente paso es calentar la máquina. Pulsando sobre prepare y, posteriormente sobre preheat. El material utilizado es PLA.

Previamente hay que realizar algunas verificaciones del material, explicado en mayor detalle en el protocolo.

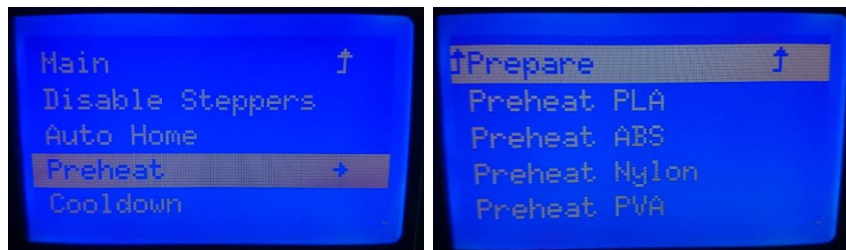


Figura 5-8: Pantalla para calentar extrusor y cama, según material.

Tras seleccionarlo, vuelves a la pantalla de información, con la temperatura programada y comienza a calentar el extrusor y cama.



Figura 5-9: Espera durante el calentamiento de extrusor y cama.

En este tiempo puedes aprovechar para realizar algún cambio en el g-code o guardarlo en la SD si aún no lo tienes guardado.

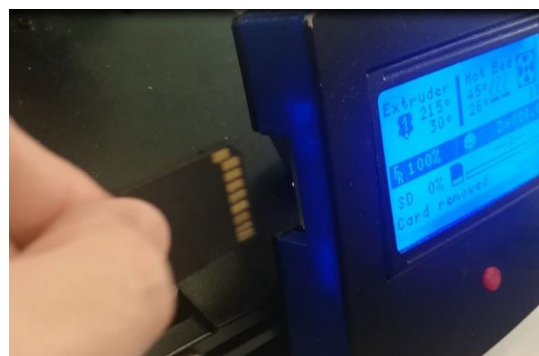


Figura 5-10: Tarjeta SD.

Una vez se alcancen las temperaturas, desde el menú prepare se selecciona move axis, move 1 *mm* y el eje que necesites mover. Tras seleccionar el eje, girar la rueda para moverlo.

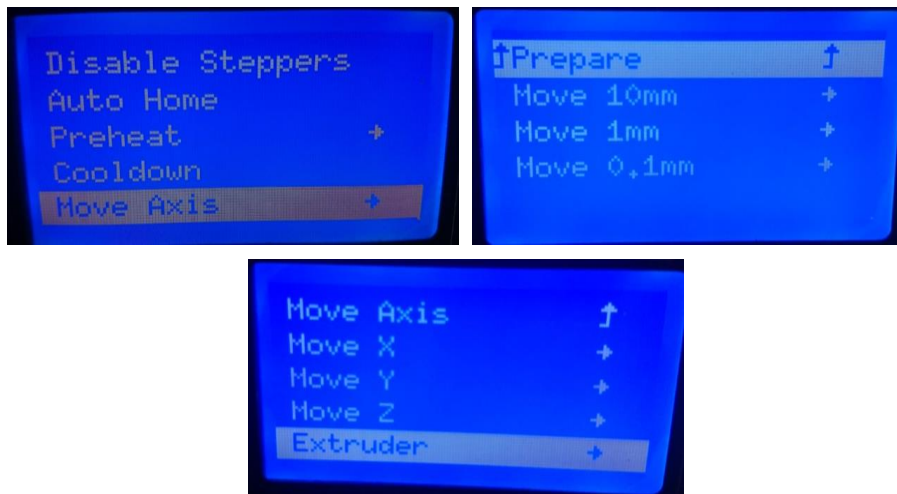


Figura 5-11: Mover ejes.

Es conveniente revisar siempre que el eje Z tiene una buena altura para extruir material.

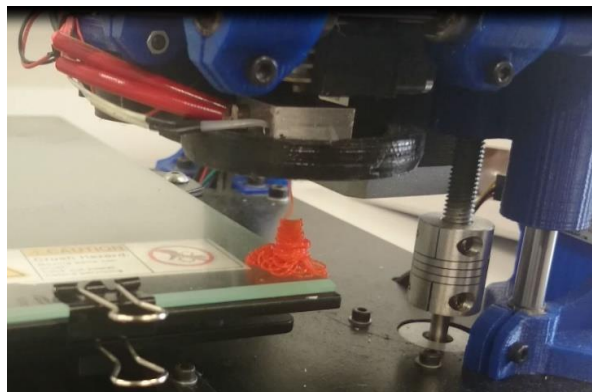


Figura 5-12: Extrusión.

Al iniciar la fabricación de una pieza se suele extruir antes porque, al principio, existe un periodo transitorio donde la deposición del material no es buena. Una buena extrusión es cuando el material extruido se coloca en forma de círculos. Al encender la máquina, es habitual extruir algo más pero en las fabricaciones posteriores es más rápido.

Otras opciones que pueden ser útiles son disable steppers, para liberar motores y mover la cama y el extrusor libremente, o auto home, enviando el extrusor a un punto ya configurado.

El auto home, en este caso, envía la impresora a la esquina donde se ha realizado la extrusión pero a una altura mucho más baja, imposible para realizar la extrusión. Soltar motores puede ser una acción útil para realizar una rápida calibración de la cama.

Una vez extruido material, se echa laca sobre la cama para mejorar la adherencia y se comienza la impresión. Para seleccionar la pieza a imprimir se selecciona print from SD, desde la pantalla principal.

Cuando se está imprimiendo, vuelves a la pantalla de información, tal y como se vio en la primera imagen de este apartado. En caso de error, se puede pulsar la rueda y detener la impresión.

Se obtuvo una pieza rígida y nada funcional. El siguiente paso fue reducir algo más la parte cilíndrica y aumentar el diámetro de las circunferencias que forman la cabeza.

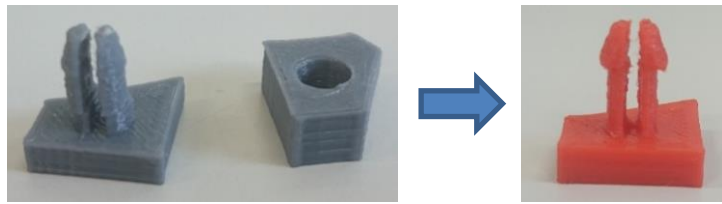


Figura 5-16: Modificaciones prueba.

El tercer diseño tenía bastante mejor pinta que los dos anteriores. La pieza empezaba a mostrar un poco de sujeción entre las carcasas pero bastante débil.

Se realizaron algunas pruebas más adoptando una geometría similar, intentado mejorar los resultados obtenidos. Uno de los problemas era que encaja bien pero no ofrecía demasiada resistencia para sacarlo, por lo que se fue aumentando la geometría de la cabeza.

Finalmente las piezas encajaron bien pero no se pudo volver a separar las piezas.

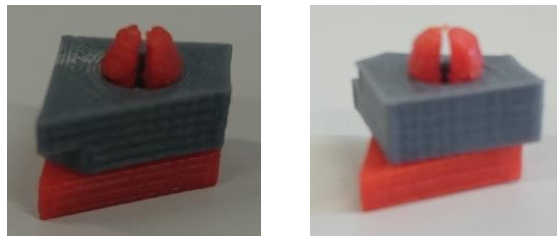


Figura 5-17: Verificar pruebas. Izquierda: Separación fácil. Derecha: No puede separarse.

Para solucionar esto se aumentó el espacio entre las pestañas en la parte superior del pincho.

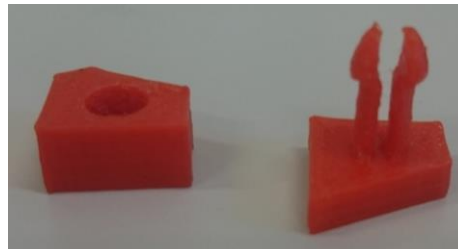


Figura 5-18: Más modificaciones.

Tras algunos ajustes geométricos se escogió el modelo definitivo.

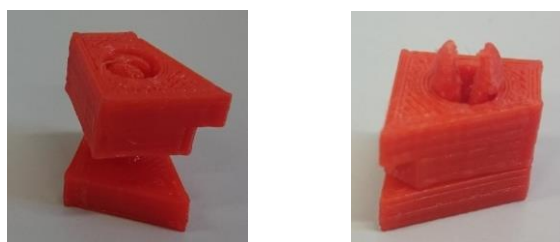


Figura 5-19: Prueba final: Prueba final.

Las piezas quedan bien ensambladas y no pueden separarse a no ser que se cierre un poco las pestañas.

El PLA es un material bastante rígido, no siendo el más indicado para esta función. Para verificar la calidad de esta pieza se le ha dado bastante uso a la prueba final, para comprobar que la pieza encajaba bien siempre o, que no se rompe al separarlo unas pocas veces. Tras varios intentos se aprecia que el *pincho* acaba cediendo un poco, facilitando la separación de las piezas.

Por otro lado, una vez hecho el montaje, la carcasa no necesita abrirse más, por lo que se acepta este modelo.

El siguiente paso fue la fabricación de la *pieza dentada*.

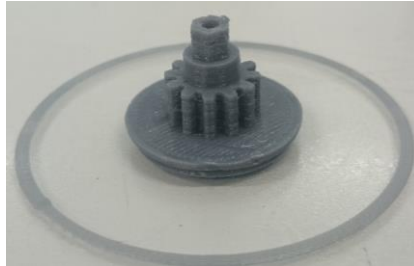


Figura 5-20: Pieza dentada.

Esta pieza acabó por descartarse debido a que no convencía el espacio entre los dientes de la pieza, previendo posibles futuros problemas al engranarlo con las *guías*.

Como se comentó en apartados anteriores, se realizó un offset de 0.13mm en los dientes de la *pieza dentada* y *guías*.



Figura 5-21: Comparación fabricación pieza dentada. Izquierda: Sin offset Derecha: Con offset.

La siguiente fue una de las *guías* para verificar que engranan correctamente.



Figura 5-22: Fabricación de la primera guía.

La diferencia de color es simplemente porque se acabó el filamento y se cambió por otro en el momento, el material es el mismo.

Ambas piezas engranan bastante bien, debido a que todas las *guías* tienen la misma geometría en la parte dentada se supone que su diseño también es válido.

Un par de piezas pequeñas relacionadas con la *pieza dentada* son las siguientes en ser impresas.



Figura 5-23: Pieza dentada, fijar 4 y fijar 5.

En la imagen anterior se puede observar que el hexágono de la *pieza dentada* es un poco pequeño en comparación con “*fijar 4*”.

Esto se debe a que, tras fabricar la *pieza dentada*, se ha decidido aumentar el tamaño del hexágono pero, no se ha fabricado hasta verificar el resto de la geometría con la *carcasa inferior*. Este cambio ya se ha tenido en cuenta al fabricar “*fijar 4*”.

La siguiente pieza es la *carcasa inferior*.

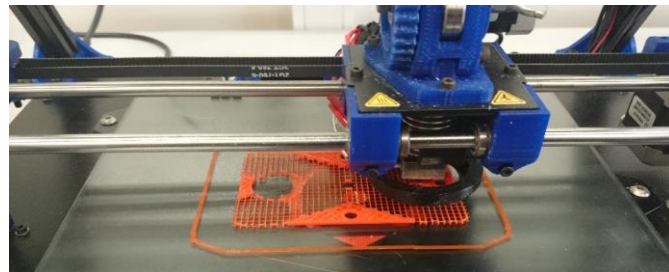


Figura 5-24: Primeras capas de la carcasa inferior.

Aunque las primeras capas de apoyo tengan forma de rejilla, el apoyo se ha programado en forma lineal.

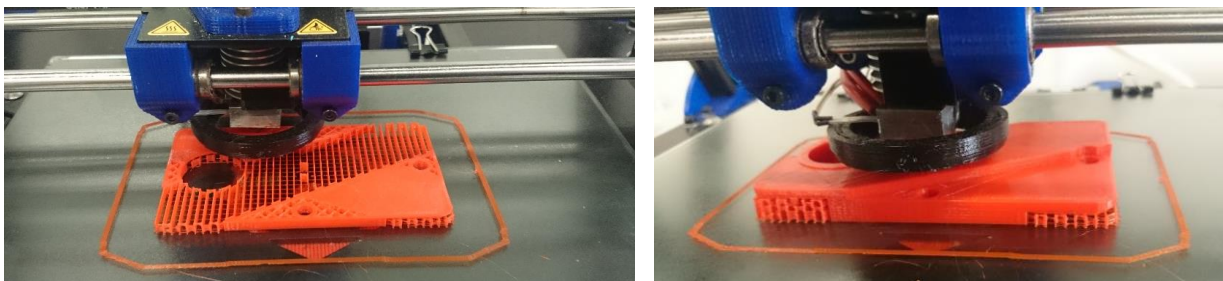


Figura 5-25: Impresión de la carcasa inferior.



Figura 5-26: Finalizada impresión de la carcasa inferior.

Una vez finalizada la impresión se retira el material de apoyo.



Figura 5-27: Retirar material de apoyo. Carcasa inferior.

Al revisar la *pieza dentada* con la carcasa se observa que la parte cilíndrica, que atraviesa la carcasa, se queda algo corta. La hexagonal también es muy pequeña resultando un poco difícil el manejo de la pieza denominada “*fijar 4*”.

El siguiente paso fue realizar las modificaciones oportunas a la *pieza dentada* y volver a fabricarla. En las primeras piezas, la densidad era del 100% ya que apenas penalizaba pero, tras las modificaciones, la penalización era de unos cuatro minutos y mayor consumo. Una densidad del 100% es totalmente innecesario por lo que se redujo hasta el 40%, que continúa siendo bastante alta. En general, para este material se alcanza una muy buena resistencia con una densidad de relleno a partir del 20%.

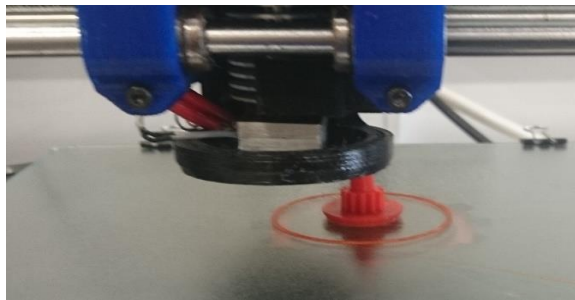


Figura 5-28: Pieza dentada modificada.

También se realizaron cambios a las piezas denominadas y “*fijar 5*”. A “*fijar 4*” se le dio un poco más de altura para facilitar su uso mientras que a “*fijar 5*” se le ha modificado la parte que encaja entre “*fijar 4*” y la parte hexagonal de la *pieza dentada*, para que no se molesten entre ellas.



Figura 5-29: Modificaciones del conjunto que forma el engranaje.

Revisado esta parte, se comienza a fabricar el resto de *guías*.

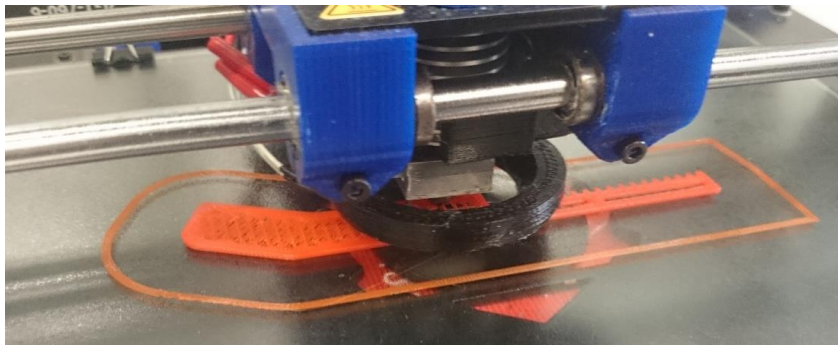


Figura 5-30: Fabricación guías

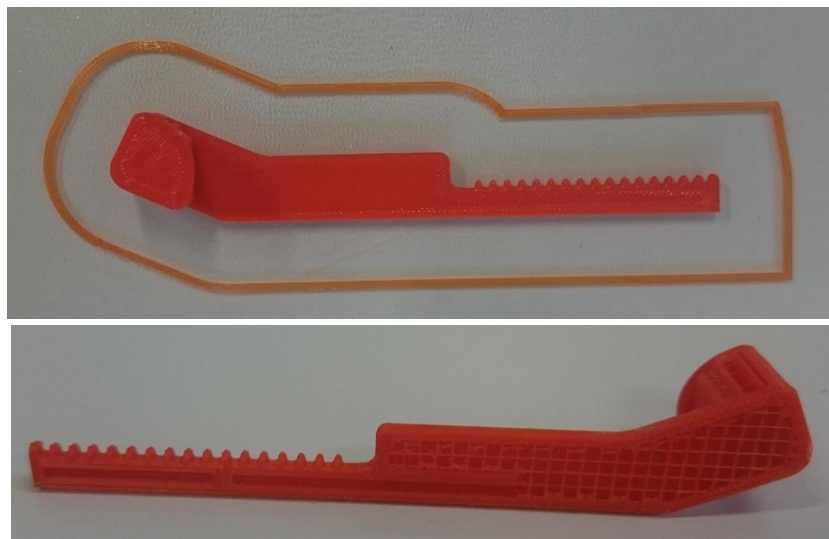


Figura 5-31: Guías.

Tras fabricar las *guías* y retirar el material de apoyo se fabrican otras piezas pequeñas.

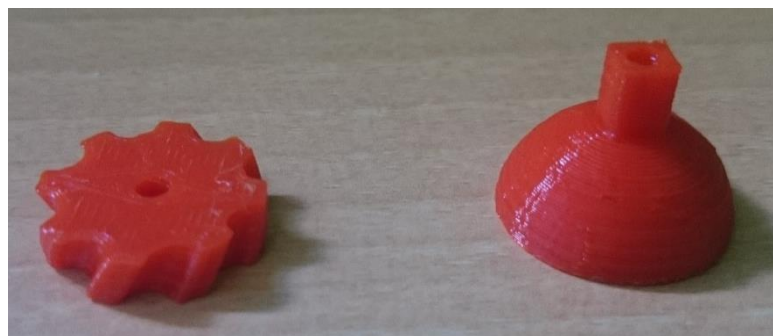


Figura 5-32: Fijar 3 y Semibola.

Estas quedan momentáneamente apartadas hasta verificar si son funcionales.

La siguiente ha sido la *carcasa superior*.

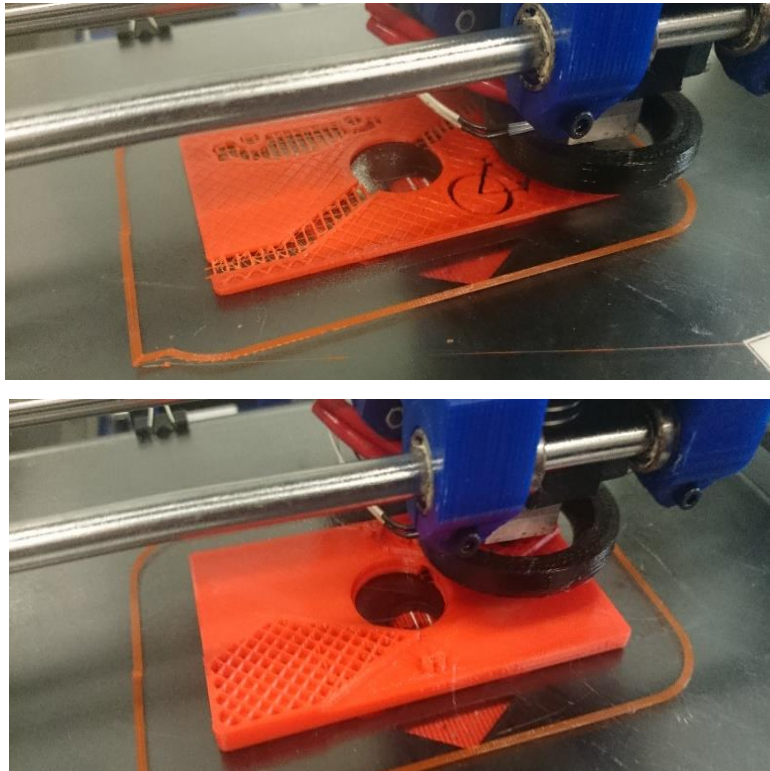


Figura 5-33: Fabricación carcasa superior.

Debido al posicionamiento, la parte interna de la pieza tiene un buen acabado aunque, en la parte externa se ha utilizado material de apoyo en ciertas partes, reduciendo la calidad superficial en dichas zonas.



Figura 5-34: Carcasa superior.

Debido a la geometría no es posible fabricarlo en otra posición sin un gran aumento de tiempo de fabricación o consumo. Además es la mejor forma para fabricar los *pinchos*.

Ya fabricado gran parte del soporte, se va a ensamblar para comprobar si es funcional. Una vez montado, adopta la siguiente forma:



Figura 5-35: Primer montaje. Soporte para el móvil. De frente.

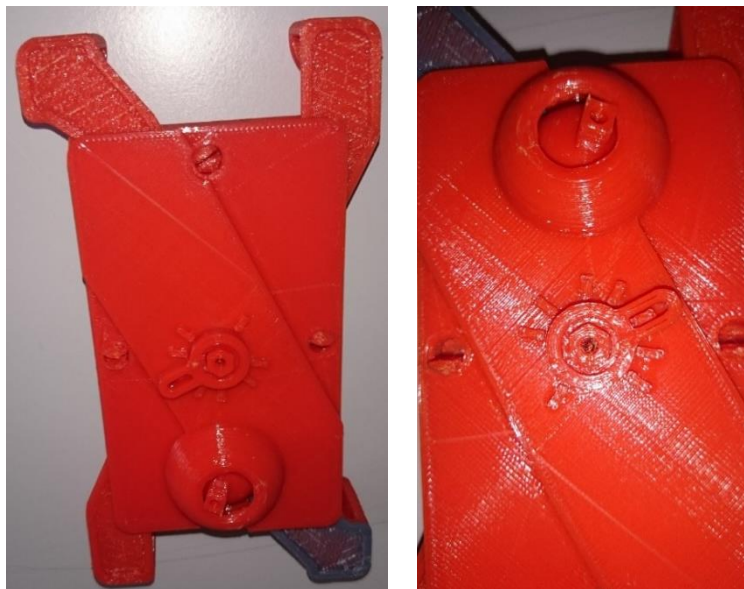


Figura 5-36: Primer montaje. Soporte para el móvil. Parte de atrás.

En este primer montaje se puede destacar el gran funcionamiento del conjunto del engranaje. El giro es bastante suave y el uso de “fijar 4” es bastante cómodo y encaja bastante bien en el hexágono y rectángulos. Se ha revisado con diferentes móviles y en todos fue posible fijarlos correctamente, además tiene una pequeña holgura que le permite realizar pequeñas correcciones. Recordar que el diseño tiene un error de $\pm 2.5^\circ$.

El problema más destacable es que al encajar tres *pinchos* a la vez, existen más restricciones a la hora de ensamblar. Las carcasas encajan y se mantienen muy bien fijadas entre ellas, pero acaba por romperse una de las pestañas.

El escalón también está un poco justo al ensamblarlo con la otra carcasa, por lo que se va a diseñar un poco más estrecho, dejando un margen de 0.6 mm de margen respecto a la otra parte de la carcasa.

Otro detalle es que la fabricación de una prueba concentraba el calor en una misma zona al ser una pieza pequeña mientras que, al fabricar la carcasa completa, esto no ocurre.

Al separar las carcasas:

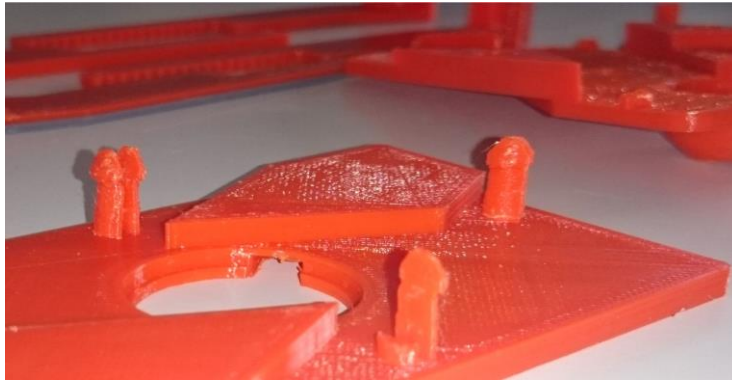


Figura 5-37: Carcasa superior tras ensamblaje. Una de las pestañas se ha roto.

En global, el resultado no es malo ya que el producto es totalmente funcional. A pesar de perder una de las pestañas, no es fácil separar las carcasas de nuevo, quedando muy bien ensambladas.

Debido a la duración de la carcasa, es conveniente hacer una pequeña modificación en la *carcasa superior*. Los *pinchos* se fabricarían por separado y la *carcasa superior* se adaptaría para esta nueva modificación.

Como ya se mencionó en apartados anteriores, la carcasa se va a fabricar con otro posicionamiento para evitar que la carcasa exhibida tenga mejor calidad superficial. Esto se puede hacer ya que no se conlleva una gran penalización.

En ensamble se va a realizar con los *pinchos*, para evitar más restricciones, dificultando la colocación del *pincho*, se va a aumentar la holgura en el escalón que se ve en la *carcasa superior*. Al encajar este escalón con la otra parte de la carcasa se ha dejado 0.6 mm de holgura. Esta mayor separación no va a influir en el mejor o peor ensamble.

Una vez obtenido el g-code, se fabrica la *carcasa superior*.

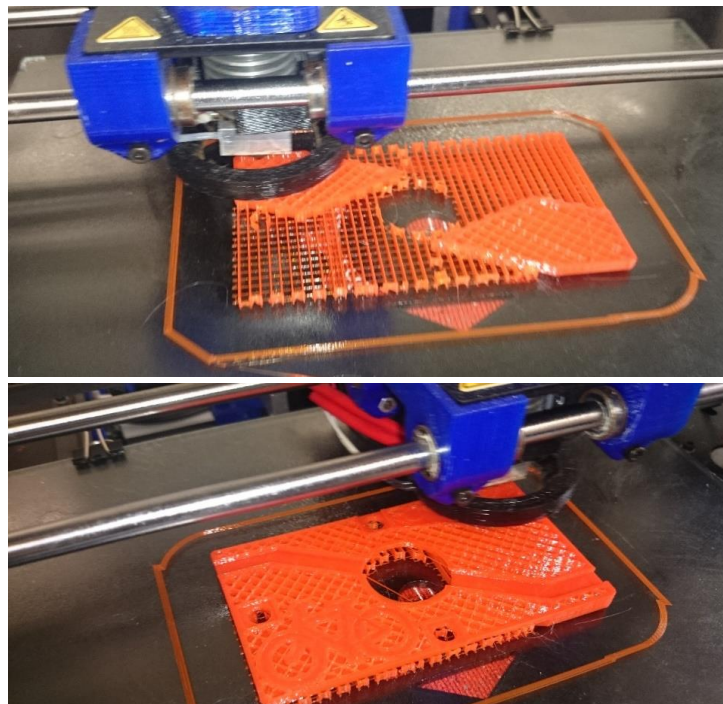


Figura 5-38: Fabricación nueva carcasa superior.

En la siguiente imagen puede verse finalizada la *carcasa superior*. Donde la parte externa de la pieza tiene un buen acabado superficial.



Figura 5-39: Nuevo diseño de la carcasa superior.

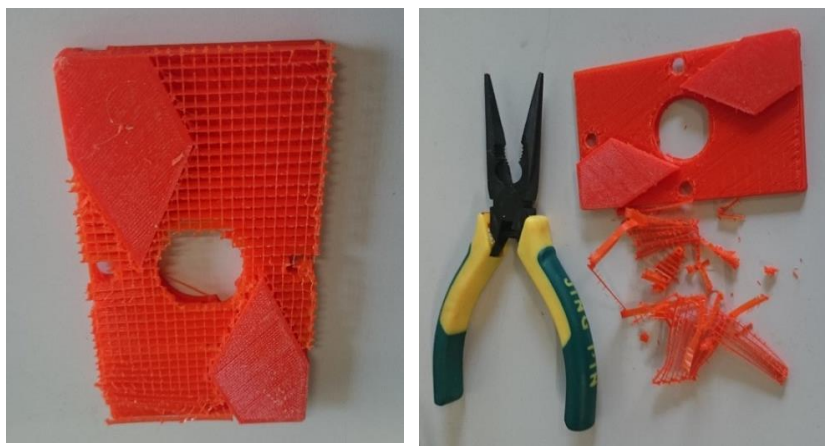


Figura 5-40: Retirar material de apoyo de la nueva carcasa superior.

Por último se va a mostrar la diferencia entre las dos carcasas superiores.



Figura 5-41: Comparación carcasas superiores. Parte interna.

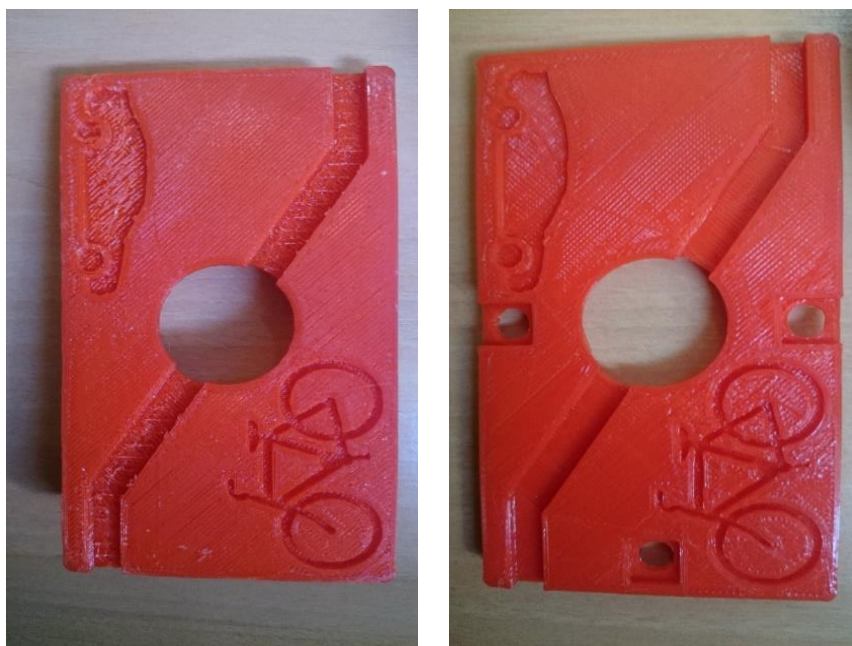


Figura 5-42: Comparación carcasas superiores. Parte externa.

Por último se han fabricado los *pinchos*.



Figura 5-43: Pinchos para ensamblar la carcasa.

Los primeros *pinchos* tenían la misma geometría que las pruebas salvo una pequeña modificación para adaptarlo a la nueva *carcasa superior*. Estos cedieron al introducirlos la primera vez, por lo que se redujo un poco el diámetro de la primera circunferencia de la cabeza. Esta modificación fue suficiente.

Otro pequeño defecto que se observó al tenerlo todo ensamblado es que, al aumentar en tamaño el soporte, una de las *guías* se salía del carril unos tres milímetros aunque se mantiene sujeto a la *pieza dentada*. La pieza se ha probado y no afectaba a la funcionalidad del producto, siendo innecesario modificar la *carcasa inferior*.

Aun así, para mejorar esta pequeña desviación se ha vuelto a fabricar, pero diseñando más restricciones, para evitar este problema de nuevo. Para sacar más provecho de esta nueva fabricación, se va a añadir material en las zonas donde, las *guías*, se apoyan sobre la *carcasa inferior* y realizar un pequeño mecanizado para intentar mejorar un poco la superficie. El espesor que se va a añadir es de 0.1 mm. Además se va a configurar otras opciones en cura para depositar el material de apoyo de forma distinta.

Se ha decidido probar la forma de rejilla ya que, al depositar material cruzado se esperaba una mejor deposición del material sobre este. Se aumentó la densidad y redujo la distancia en Z por la misma razón, una mejor deposición del material a costa de una mayor dificultad para separar el material de soporte de la pieza.

La comparación entre la configuración del soporte habitual y la nueva sería:

Soportes		Soportes	
Tipo de soporte	Lines	Tipo de soporte	Grid
Ángulo saliente de apoyo (grados)	60	Ángulo saliente de apoyo (grados)	60
Cantidad de relleno (%)	15	Cantidad de relleno (%)	20
Distancia X/Y (mm)	0.7	Distancia X/Y (mm)	0.7
Distancia Z (mm)	0.15	Distancia Z (mm)	0.1

Figura 5-44: Comparación configuración del soporte.

Con este cambio se penaliza el tiempo en trece minutos y un consumo extra de 37 cm.



Figura 5-45: Nuevo diseño carcasa inferior.

La mejora en la deposición de la primera capa sobre el soporte no se produjo mientras que la dificultad en su separación, sí. La primera conclusión llegó pronto y es que, en caso de fabricar el soporte con el mismo material que la pieza, no merece la pena utilizar la geometría de rejilla en los soportes.

Al comparar las dos carcasas inferiores fabricadas:

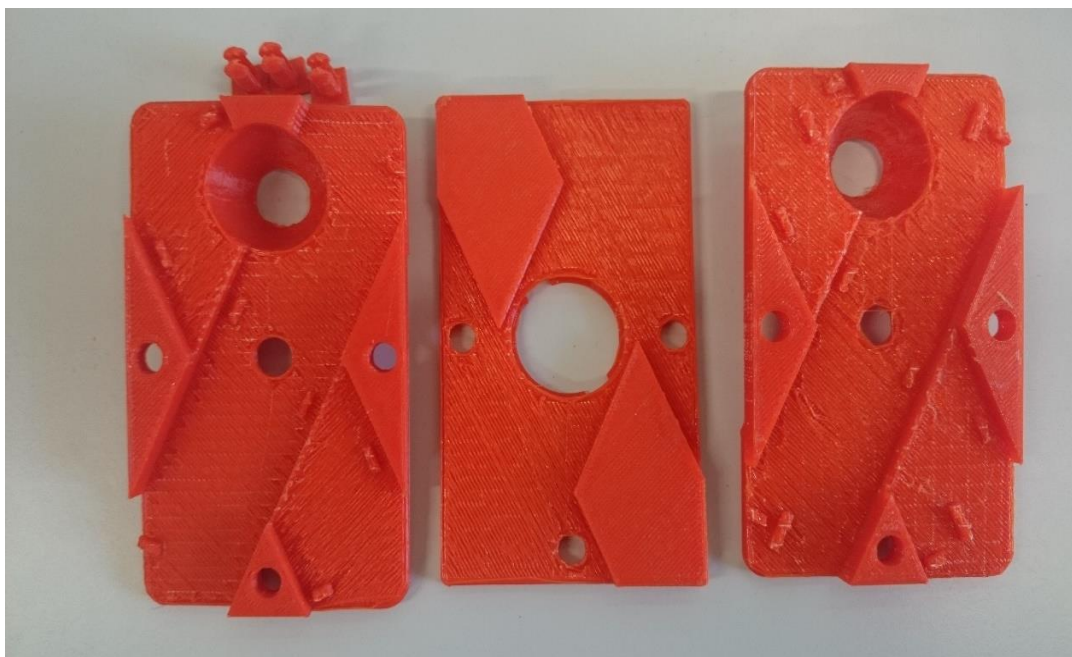


Figura 5-46: Comparación entre las carcasas inferiores. En medio, la carcasa superior.

Como se puede observar en la imagen anterior, la superficie donde se utiliza soporte empeora. Se vuelve a configurar el otro g-code con el nuevo modelo aunque, no se volverá a fabricar si el conjunto es funcional.

Un par de *guías* entraban muy justas con el nuevo diseño, por tanto, se necesitó retocarlas con una fresa para que estas encajaran perfectamente. También se ha realizado un post-tratamiento superficial.



Figura 5-47: Dremel.

Es la primera vez que se utiliza por lo que se realiza una serie de pruebas sobre la primera *carcasa inferior* antes de pasar a la nueva. El PLA es un material difícil de mecanizar y pierde el brillo y color, como se pudo observar en la prueba. A pesar de la pérdida de color, al ser una zona interna, no se plantea pintar la pieza.

Se van a usar las siguientes herramientas en la nueva carcasa aunque, para las pruebas se utilizaron otras tantas. Las de la izquierda eliminan muy poco material mientras que las fresas, eliminan bastante más.



Figura 5-48: Herramientas para la dremel.

En principio, las fresas se utilizarían para rebajar el material donde las piezas no encajan bien, como el comentado anteriormente, o algún detalle puntual.

Para el acabado superficial se utilizaría los de la imagen izquierda ya que no se quiere eliminar demasiado material, solo reducirle un poco la rugosidad y quitarle algunos hilos sueltos.

Se comenzó con la fresa, eliminando material de uno de los topes hasta que la *guía* se posicionara correctamente. Esta parte se realizó como se esperaba pero, al intentar mejorar el acabado superficial, los hilos se levantaron en aquellas zonas donde peor depositados estaban.

Esta herramienta también se utilizó en las pruebas, con mejores resultados. Se pudo ver algunos pequeños cortes en los hilos tras el mecanizado pero nada grave, en general fue una prueba aceptable. Posiblemente esos cortes fueran pequeñas elevaciones que, al estar la capa bien adherida, acabaron por cortarse.

Hay zonas que ni siquiera llegó a perder color, simplemente se levantaron los hilos. Sin embargo, en otras zonas se han tenido que usar las fresas porque los hilos no se levantaban y la eliminación de material era muy lenta.

Se pasó de una pequeña reducción a eliminar una capa. El tiempo de mecanizado comenzaba alargarse para una zona que, una vez cerrada, no va a ser visible. Por tanto, se realizó una comprobación rápida del funcionamiento del soporte para confirmar que el conjunto continuaba siendo funcional y seguir avanzando en el proyecto.

La carcasa a medio mecanizar se puede ver la siguiente imagen:



Figura 5-49: Carcasas a medio mecanizar.

La carcasa de la izquierda es la que se ha utilizado como prueba mientras que la carcasa de la derecha es la final. Como conclusión, el problema radica en la muy mala deposición del material en algunas zonas de la nueva carcasa, en un caso normal no ocurre este levantamiento del hilo. Por otra parte, se dedica demasiado tiempo al mecanizado, pierde brillo, color por lo que en este caso, no es conveniente realizarle ninguna mejora superficial a la pieza. La pieza no va a volverse a fabricar porque sigue siendo funcional.

Solo quedaría por fabricar la sujeción a la bici. Esta se llegó a fabricar hasta tres veces. En realidad, el primer intento se fabricó justo antes que la nueva *carcasa inferior*. El espesor de la circunferencia donde coloca el manillar es de dos milímetros.



Figura 5-50: Fabricación sujeción móvil. Primer intento.

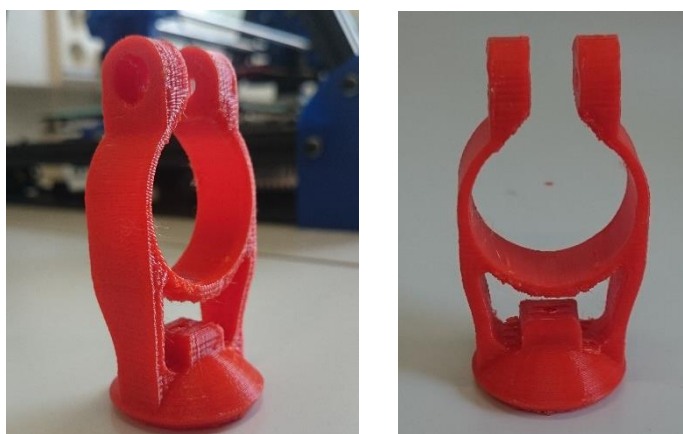


Figura 5-51: Sujeción móvil. Primer intento.

Se obtiene una pieza bastante rígida a pesar del pequeño espesor. Tras probar esta pieza en la bici, acaba por romperse con una gran facilidad.

En el siguiente diseño se reduce el espesor de la circunferencia al límite para conseguir una pieza lo más flexible posible, en dicha zona. Finalmente se decide por escoger un espesor de 0.8 mm , múltiplo de la boquilla del extrusor.

En algunos puntos de la fabricación se pueden observar algunos detalles no habituales como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 5-52: Fabricación sujeción bici. Segundo intento.

A pesar de estos errores puntuales en la fabricación, la pieza final quedó bastante bien. En general, dichos errores aparecían al depositar el material de apoyo y, los pequeños hilos mal colocados, eran fáciles de retirar.

En la siguiente imagen se observa que también se ha diseñado una mayor separación en la zona de agarre del manillar para facilitar la entrada de este.

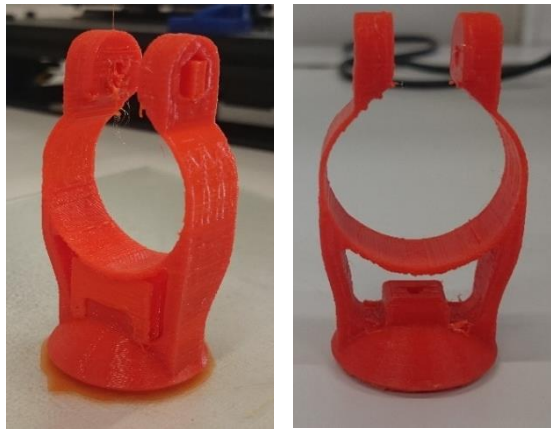


Figura 5-53: Sujeción bici. Segundo intento.

Se obtuvo una pieza rígida pero, flexible en las zonas que interesaban. Esta nueva pieza se volvió a probar en la bici y, en principio, iba bastante bien a falta de apretarla ya que aún no estaban listas las piezas para enroscarlas.

Existe un problema de holgura debido a la reducción del espesor pero, puede solucionarse fácilmente interponiendo una lámina de goma, aportando incluso un mejor agarre a la bici. Sin embargo, daba la sensación de que en cualquier momento se acabaría por romper debido al espesor tan reducido.

El tercer intento fue la fabricación del mismo modelo pero con un espesor de 1.2 mm.

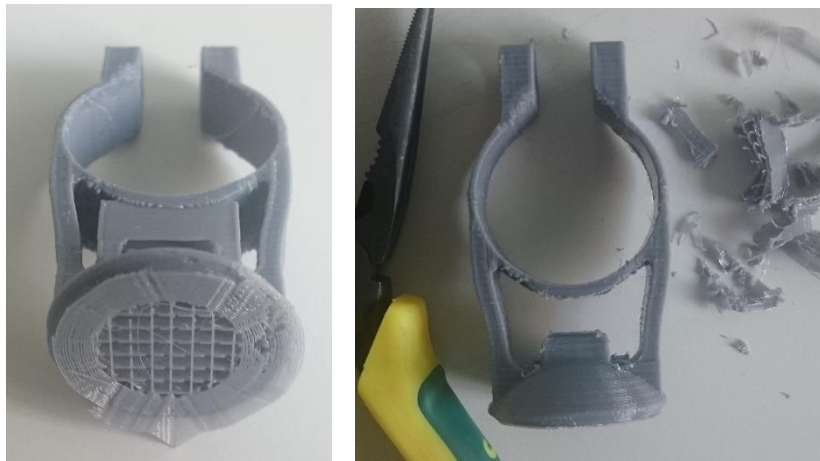


Figura 5-54: Sujeción bici. Tercer intento.

En este último intento se elimina esa sensación de que en cualquier momento acaba por romperse la pieza, a costa de una mayor rigidez.

Debido a que el adaptador al coche no se va a fabricar las últimas piezas por revisar son las relacionadas con los tornillos o barras metálicas.

Las primeras piezas en comentar van a ser la *pieza dentada*, *semibola* y “*fijar 2*”.



Figura 5-55: Post-tratamiento. Taladro en algunas piezas.

Se parte de tres tornillos de 3x30 mm de cabeza hexagonal. Dos de ellos hay que cortar la cabeza y, al tornillo que se coloca en la *semibola*, hay que reducirle la longitud del tornillo, manteniendo la cabeza hexagonal.



Tras recortar el tornillo, la longitud seguía siendo un poco grande, aprovechando la profundidad que hay en la pieza, se ajustó con una tuerca para contrarrestar el exceso de longitud y se añadió adhesivo.

Figura 5-56: Ajuste longitud.

Tras ver los resultados obtenidos, las piezas que necesitan rosca pueden diseñarse con un agujero de 3mm para, posteriormente, repasarlo con una broca de 2.5mm para sanearlo y eliminar posibles defectos en su interior.

Las piezas que son atravesadas por el tornillo, sin necesidad de rosca, pueden diseñarse con 3mm de diámetro y repasarlo, posteriormente, con una broca de 3mm.

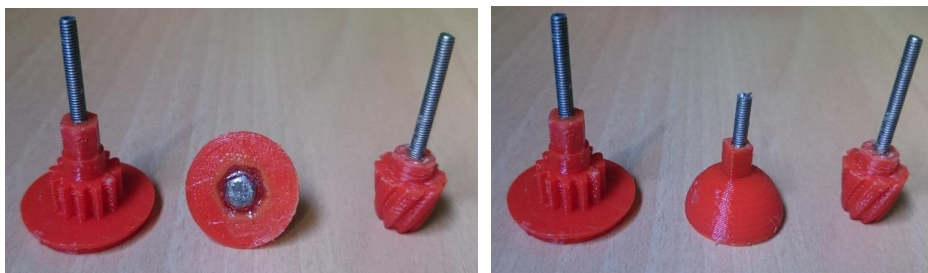


Figura 5-57: Varias piezas con los tornillos.

En los casos anteriores se ha utilizado la broca de 3 mm y se ha utilizado un adhesivo para mantenerlos fijo.



Figura 5-58: Adhesivo.

Se puede observar que la cabeza hexagonal diseñada en *semibola* es bastante mayor a la real de un tornillo de 3 mm. Se ha fijado con bastante pegamento para ver los resultados que se obtienen con esta solución pero lo ideal es rediseñar esta parte y ajustarlo al tamaño real de un tornillo de cabeza hexagonal de 3 mm.

En la imagen de la derecha se puede observar la profundidad del hexágono, permitiendo ajustar un poco la longitud del tornillo si quedase demasiado largo.



Figura 5-59: Semibola 2.

Las siguientes piezas son las que van roscadas como "*fijar 3*" y "*fijar 5*". Se han realizado un par de impresiones más de estas piezas. Las nuevas impresiones son las grises.



Figura 5-60: Diferentes opciones de fijar.

El agujero de la primera fabricación era demasiado grande para hacerles la rosca, por tanto, necesitarían una tuerca, quedando por fuera de la pieza, para roscar con el tornillo. En este caso la pieza no tiene ninguna función, pudiéndose evitar y usar únicamente la tuerca.

Las situadas en el centro se les han diseñado un hexágono para introducir la tuerca y mejorar las que ya se tenían impresas. En este caso, la pieza es útil para ayudar a roscar la tuerca, especialmente "*fijar 3*", donde el reducido espacio de esta zona dificulta bastante la colocación de una tuerca tan pequeña.

Las piezas a la derecha no necesitan tuercas ya que se han realizado la rosca a las piezas. En estos casos se utiliza la broca de 2.5 mm, aunque se puede usar la broca de 3 mm para colocar el tornillo y facilitar el inicio. Cuanta mayor sea la distancia recorrida con la broca de 3 mm, menor parte de la pieza tendrá rosca por lo que, es importante que solo se utilice para iniciarlo en caso de que sea difícil iniciar la rosca. Destacar que en "*fijar 5*" se ha mantenido el hueco de la tuerca aunque no la necesite, el motivo es porque aún tiene suficiente espacio para realizar la rosca y, de esta forma, te ahorras unos 2.5 mm de rosca extras.

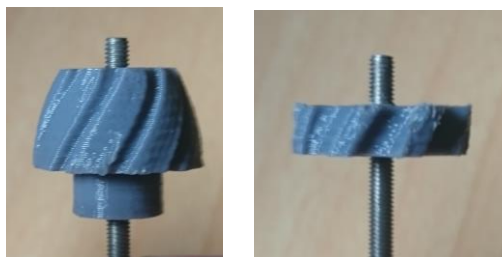


Figura 5-61: Piezas con rosca.

El primer recorrido completo del tornillo es bastante tedioso, es un material bastante rígido y no es fácil hacerlo avanzar. Tras varios pases del tornillo, se va notando cierta fluidez en el recorrido de este, sin notar la diferencia entre la tuerca y la rosca realizada en las piezas.

En definitiva, ambas soluciones son viables. Una de ellas necesitas tuercas mientras que la otra opción las evitas a costa de una fabricación más costosa.

El siguiente paso es volver a realizar las comprobaciones de todo el conjunto ensamblado. Las observaciones obtenidas son las siguientes.

En primer lugar el conjunto del engranaje. Las *guías* con la *pieza dentada* engranan bastante bien y las holguras entre las diferentes piezas son muy pequeñas, necesarias para un giro de la *pieza dentada* suave.

En relación al tornillo, se queda muy bien sujeto a la *pieza dentada* y la rosca en “*fijar 5*” es bastante buena aunque existe una limitación. Todo funciona correctamente hasta que “*fijar 5*” llega al tope (“*fijar 4*”). El problema es que se puede continuar avanzando en la rosca fácilmente con la consecuencia que, desde ese momento, se está saliendo la barra de la *pieza dentada* al no poder continuar avanzado “*fijar 5*”. Por tanto, con el adhesivo que se ha utilizado, es mejor evitar esta opción en futuras fabricaciones.

Es posible que con otro adhesivo u otro método de unión se logren mejores resultados aunque se va a proponer otra solución. Habría que modificar el diseño y, donde está la letra M, diseñar un hexágono regular de 3.5 mm de lado y un agujero de 3 mm que atravesase a la pieza por el centro. En este caso no se cortaría la cabeza al tornillo, evitando así el problema anterior. Al realizar este cambio se necesita un tornillo más largo de 30 mm.

Algo similar ocurre con la tuerca palometa y “*fijar 2*”. En este caso existen dos posibles soluciones.

- La primera es similar a la adoptada en el caso de la *pieza dentada* aunque requiere modificar el diseño de “*fijar 2*” debido a que la cabeza del tornillo sería demasiado grande para esa pieza en concreto. La longitud del tornillo tendría que ser mayor a los utilizados.

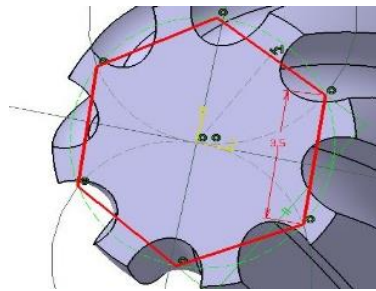


Figura 5-62: Primera opción.

- Hacerle rosca a “*fijar 2*” y el tornillo atravesase a toda la pieza, similar a como se diseñó “*fijar 5*”. El tornillo mantendría la cabeza y se colocaría en la *sujeción a la bici* que, atravesaría dicha pieza para finalmente enroscarse a “*fijar 2*”. En este caso no sería necesario la tuerca palometa y la *sujeción de la bici* tendría que fabricarse de nuevo, con el hexágono adaptado al tornillo ya que, actualmente, es demasiado grande.

Respecto a la *semibola* con “*fijar 3*” es totalmente funcional. Cuando este llega al tope, la pieza no puede seguir avanzando y mantiene totalmente fija a la *carcasa* con la *sujeción a la bici*.

Con las piezas obtenidas se puede realizar varias pruebas sobre la bici. Uno de los objetivos es ver las posibilidades o alcance que puede ofrecer las impresoras 3D, así como las limitaciones de estas, por tanto, las posibles soluciones a las limitaciones anteriores no se van a llevar a cabo en este proyecto debido a que se conoce que dichas soluciones son aceptables, tomando como referencia otras piezas como el ensamblaje entre “*fijar 3*” y la *semibola*. Para futuras nuevas fabricaciones sí se recomienda realizar las modificaciones para evitar estas limitaciones.

En el caso de que las limitaciones mencionadas resulten un problema en las pruebas para verificar la funcionalidad del soporte, se les dará una solución parcial.

En el caso de la *pieza dentada*, habría que levantar “*fijar 4*” alrededor de 2 mm sobre la *carcasa* para desbloquear y permitir el giro al engranaje. Si se evita roscar más de lo necesario, la barra no se sale y el conjunto aguanta bastante bien. Por otra parte, no es posible un simple ajuste para sujetar el soporte a la bici, siendo muy probable que la barra acabe por separarse de la pieza al intentar lograr una buena sujeción, por ello se muestra la siguiente solución parcial, obteniendo resultados muy similares a los que se lograrían con la solución a esta limitación.



Figura 5-63: Solución parcial a la limitación de fijar 2.

Con todas las piezas listas, se procede a su montaje y pruebas sobre la bici.

6 EVALUACIÓN DEL SOPORTE

6.1 Montaje y pruebas del soporte para el móvil

En este apartado se va a exponer el montaje de las piezas finales que conforman el soporte para móvil para la bici.

En primer lugar se coloca la *semibola* en el interior de la *carcasa inferior*. Tras esto se colocan las *guías*, las que tienen una marca, o corte, se ponen antes que las otras y se sitúan tocando el tope que limita las dimensiones mínimas del soporte para, finalmente colocar la *pieza dentada* en el centro.

Una vez posicionado, se encaja con la *carcasa superior*, sujetándolo con los *pinchos*.

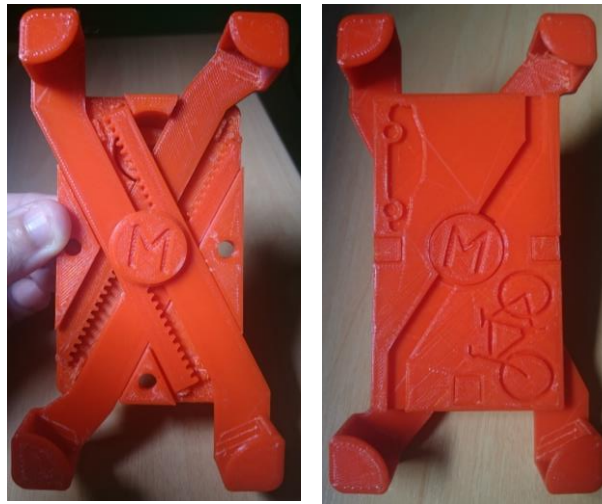


Figura 6-1: Montaje del soporte (1).

Al girarlo, se podrían colocar las piezas restantes.

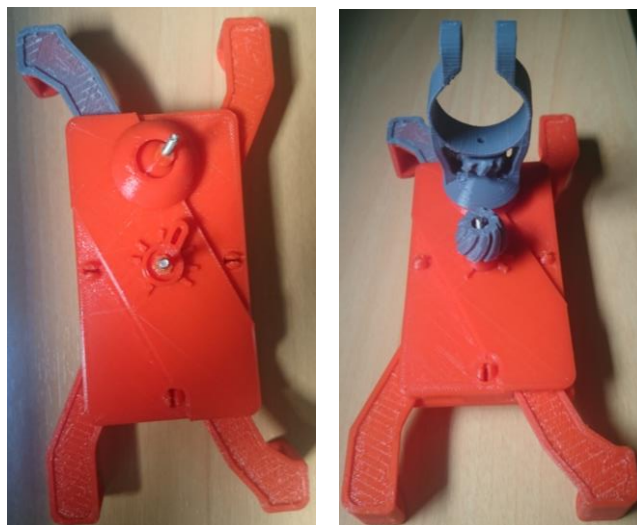


Figura 6-2: Montaje del soporte (2).

Solo restarían realizarle diferentes pruebas para ver si el producto es funcional.

En primer lugar se va a probar el mecanismo del engranaje. Es una comprobación fácil que se realizó a lo largo de la fabricación. Se trata de verificar que el producto es válido para móviles de diferentes dimensiones.



Figura 6-3: Prueba de diferentes móviles.

En general no hubo problemas, todos quedaron fijos en el soporte, la limitación de la unión entre la *pieza dentada* y la barra comentada en el apartado anterior no dio ningún problema.

Un aspecto a mejorar son las dimensiones mínimas que acepta el soporte. Los móviles más pequeños se quedan muy justos y no son válidos, por poco, para este modelo fabricado.

Un ejemplo es el *Samsung Galaxy S2* cuyas dimensiones son, $125.3 \times 66.1 \times 8.49 \text{ mm}$. Haciendo uso de la ecuación para obtener el ángulo, $\alpha = 27.8^\circ$.



Figura 6-4: Verificación del soporte con el Samsung Galaxy S2.

Las dimensiones máximas son bastante grandes, por lo que sería conveniente recortar las *guías* y reducir el tamaño mínimo posible. Se comentará en mayor detalle en el siguiente apartado, *mejoras futuras*.

El siguiente paso fue verificar que la pieza “*sujeción bici*” es capaz de colocarse en el manillar y apretarla para ver si aguanta sin romperse. De esta pieza se fabricaron tres, las dos primeras acabaron rechazadas en este paso. La primera era demasiado rígida y la rotura fue inmediata, la segunda era flexible pero demasiado fina, no acabó por separarse de la pieza pero quedó muy frágil, en cualquier momento acabaría por romperse.



Figura 6-5: Prueba de sujeción en la bici.

Se puede observar que entre la pieza y la bici se colocó una lámina de goma para mejorar el agarre del soporte. Este espacio estaba previsto para dicha lámina. No es necesario apretar demasiado, simplemente hasta que se vea que la pieza queda bien sujeta. Recordar que el material de la pieza es muy rígido y si se apura demasiado puede llegar a romper.

Una vez fijada la pieza se comprueba con el resto de las piezas, sin el móvil.



Figura 6-6: Prueba del soporte sin el móvil.

La *pieza dentada* tiene un poco de holgura en su interior y, al no poder apretar al máximo esta zona, se va a notar en que no se puede poner “*fijar 4*” totalmente pegada a la carcasa.



Figura 6-7: Separación entre carcasa y las piezas que bloquean la pieza dentada

Este no es un problema para la práctica porque el espacio es inferior al relieve de bloqueo de la carcasa. La barra está bien sujeta a la *pieza dentada*, la forma de separarla es que continuara roscando “*fijar 5*”, pero no va a salir fácilmente en otros casos.

Respecto a “*fijar 3*”, la fijación es muy buena pero no le vendría mal alguna arandela para mejorarlo aún más ya que, una vez fijado, desliza un poco aunque, nada importante en la práctica.

Los resultados obtenidos son aceptables y se decide a dar un paseo con el soporte, sin móvil, para ver si continúa resistiendo firme las vibraciones que puedan suceder en el recorrido, cuyos resultados también fueron muy positivos, en ningún momento acabó por ceder.

El siguiente paso fue comprobarlo con el móvil.



Figura 6-8: Pruebas del soporte con el móvil.

Para corroborar el buen funcionamiento del producto, ahora con el móvil, se fue a realizar pruebas en diferentes terrenos.

Las pruebas se realizaron en un día y duró varias horas. En primer lugar el recorrido fue sobre asfalto, no se dio ningún problema en el trayecto, donde también se realizaron pruebas subiendo, y bajando, bordillos.

Tras un buen rato, con todo correcto, se fue hacia caminos de tierra donde en algunas zonas acabó por ceder. Existían tramos suaves con algunos baches y piedras que resistió bastante bien los diferentes golpes y pequeñas vibraciones continuas. Sin embargo, si se produce vibraciones moderadas de forma continua, el soporte acaba por ceder poco a poco, obviamente cuanto mayor sea el impacto, mayor será el desplazamiento. Es normal que termine por ceder, ni siquiera el soporte original lograba fijarse ante ciertos desniveles en el terreno.



Figura 6-9: Pruebas en caminos de tierra.

Tras las pruebas, se podría decir que el producto es funcional pero que depende del terreno donde se use, siendo los terrenos asfaltados, superficies suaves o sin baches el escenario ideal para usarlo. En otros terrenos también puede ser útil pero necesitará reposicionar el soporte cada cierto tiempo si el terreno presenta muchos desniveles en su recorrido.

Una vez tomada todas las imágenes y pruebas definitivas se intentó apretar algo más a la bici para ver el verdadero alcance que puede dar esta pieza y cuyo resultado final fue el siguiente:



Figura 6-10: Rotura de la pieza.

En realidad, este apriete llegó a realizarse dos veces, en el primero los resultados fueron similares a los obtenidos a pesar de estar más apretado. Al apurar aún más es cuando llegó a romperse.

Como era de esperar esta pieza está muy limitada debido al material utilizado, su geometría y a la función que debe desempeñar, necesitando que el material sea más flexible. Al apurar demasiado la sujeción, por segunda vez, la pieza acabó por romperse tras subir y bajar algún bordillo y algunos baches más.

Visto lo visto, hasta aquí llegaron las pruebas del soporte, dando paso a las conclusiones obtenidas y las posibles mejoras que se han detectado para superar el diseño actual.

7 CONCLUSIONES

En este capítulo se expone las conclusiones adquiridas tras realizar el soporte. Según lo descrito en el montaje y pruebas del soporte se puede decir que el objetivo de lograr un soporte de móvil funcional se ha cumplido. A continuación se va a documentar posibles mejoras al diseño realizado y otros conocimientos adquiridos de forma muy breve debido a que ya se ha redactado de forma más detallada a lo largo del proyecto.

7.1 Mejoras futuras

Una vez realizado el soporte se ha podido observar ciertas limitaciones o posibles mejoras en el diseño. En este apartado se va a exponer algunas de ellas, que ya fueron comentadas a lo largo del trabajo y que se van a detallar en este apartado.

En primer lugar, la limitación de unir la barra con rosca a la pieza ya que se trata de una mejora funcional. Como ya se comentó, la unión de la barra con rosca y la pieza no era del todo buena, con el adhesivo usado, cuya solución fue evitar las barras y utilizar únicamente tornillos. Para ello se necesita realizar unos pequeños cambios en el diseño.

El siguiente modelo no se ha fabricado pero, en caso de volver a fabricarse la pieza, se aconseja adaptar el diseño fabricado por los motivos comentados. Las modificaciones a realizar en Catia son muy simples.



Figura 7-1: Fijar 2. Otro posible diseño.

Recordar que el hexágono de *sujeción bici* era demasiado grande, por lo que habría que adaptarlo a una cabeza hexagonal de un tornillo de 3 mm y que, en este caso, se tiene que hacer la rosca a “fijar 2”.

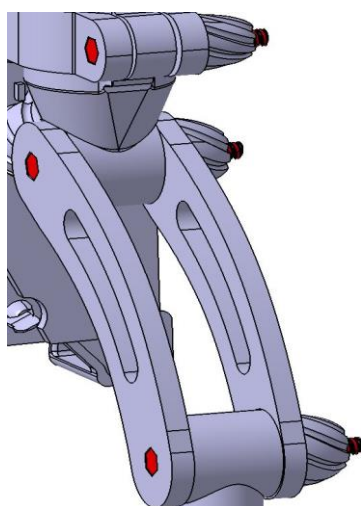


Figura 7-2: Mejora de fijar 2.

Utilizar una arandela para mejorar la fijación también sería conveniente.

Otra pieza afectada por este mismo motivo era la *pieza dentada*.

De esta forma, el tornillo no podrá separarse de la *pieza dentada* como podría suceder en el caso fabricado.

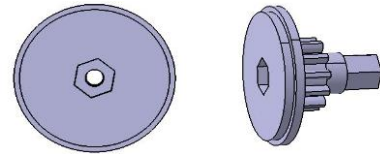


Figura 7-3: Pieza dentada. Otro diseño.

Otra posible mejora ha sido en la carcasa. En principio se ha estimado suficiente que el ensamblaje de la carcasa se realice en solo tres puntos. En la práctica se puede observar que, efectivamente, es suficiente, quedando una muy buena fijación entre las dos carcasa. Aun así se va a proponer que haya una fijación en cada uno de los laterales de la carcasa.

Con estas modificaciones, el soporte de la bici quedaría de la siguiente forma:

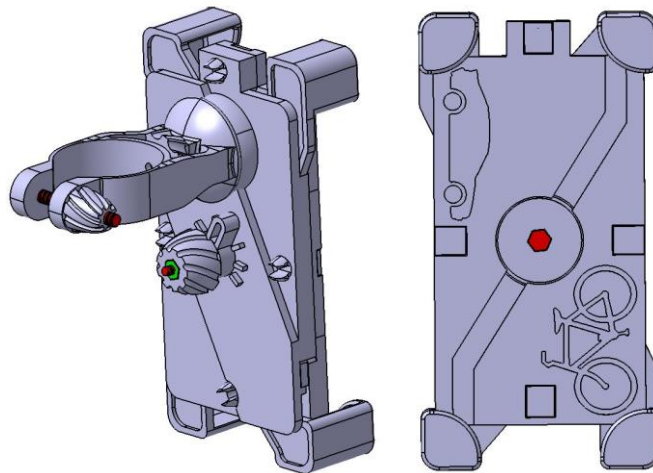


Figura 7-4: Mejoras realizada al soporte.

También se puede observar modificaciones en las *guías*.

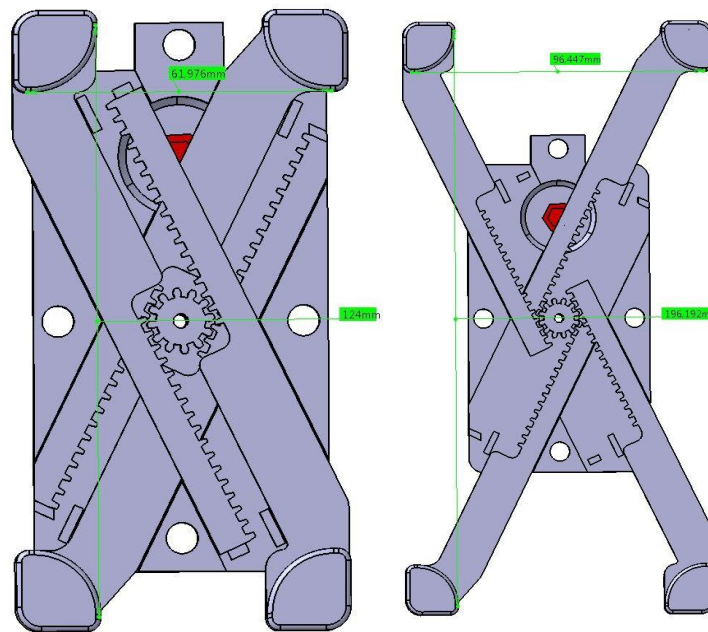


Figura 7-5: Más mejoras.

Para mejorar la visión se ha ocultado parte de la *pieza dentada*.

La mejora más significativa es la reducción de las dimensiones mínimas válidas para el uso del soporte. Con esta modificación podrá usarse el soporte para móviles más pequeños a costa de reducir el máximo, que es aún bastante grande. Repasando lo visto en el apartado de “*mejoras en el diseño*”, el cálculo del ángulo α es:

<i>Dimensiones mínimas:</i> 124.000 x 61.976 mm	→	$\alpha = 26,56^\circ$
<i>Dimensiones máximas:</i> 196.192 x 96.447 mm	→	$\alpha = 26.18^\circ$

Solo se ha tocado la parte que agarra al móvil, apurando las distancias más hacia la carcasa. La zona de los dientes, en las *guías*, no se ha tocado.

En el apartado simulación también se pudo ver que el rectángulo de la *carcasa inferior*, para ayudar a la *guía* a mantener la dirección deseada, se quedaba corta cuando el soporte se abre al máximo. Este no era del todo necesario ya que el tope que limita el máximo también ayuda a mantener la dirección pero, aprovechando el rediseño de las *guías*, se ha tenido en cuenta para que, el rectángulo mencionado, haga su función para cualquier dimensión que pueda lograr el soporte, como puede verse en la imagen anterior.

Un último cambio respecto a lo hecho en la fabricación es no realizar post-tratamiento superficial. Realizar solo los taladros y eliminación de material en caso de que sea necesario para el ensamblaje y funcionamiento del soporte. El PLA es un material bastante complejo de mecanizar, pudiendo exceder en demasía el tiempo de fabricación.

7.2 Conclusiones

Tras realizar la fabricación se pueden alcanzar muchas conclusiones que pueden llegar a aportar a mejorar posibles futuras fabricaciones o el alcance y límites de esta tecnología.

Las conclusiones sobre posibles mejoras que se pueden aportar al diseño realizado están redactadas en el apartado anterior.

Se trata de un producto pensado para fabricar en masa, no siendo la mejor opción esta tecnología, el trabajo de diseño y fabricación es bastante tedioso para obtener un producto que tiene un precio muy asequible en el mercado. La ventaja destacable es la personalización del soporte respecto a los existentes. Tras las pruebas, las prestaciones de la pieza son similares a las del soporte original.

El acabado superficial alcanzado es peor en el caso del FDM, en comparación con el soporte fabricado por inyección de plástico.

De las primeras conclusiones, respecto a la fabricación, es la precisión dimensional de la máquina, esta tiende a excederse de los perímetros diseñados. Es un punto muy a tener en cuenta ya que las piezas no van a encajar correctamente si no se tiene en cuenta las tolerancias en el diseño. En general, entre diferentes piezas, el juego es de 0.25mm.

No es aconsejable poner una densidad de relleno inferior al 20% para el PLA debido a que se puede quebrar la pieza, incluso al separarla de la cama. Obviamente la densidad va a depender de la geometría y de los objetivos de la pieza fabricada. *Esta conclusión se obtuvo en unas prácticas ajenas a este proyecto, donde nunca se ha bajado de una densidad del 20%.*

El control de la velocidad es importante, principalmente en geometrías muy complejas. La gota de agua de *sujeción bici* es un buen ejemplo, siendo capaz de imprimir por encima del ángulo crítico.

Respecto al material, es muy rígido por lo que no es el adecuado para piezas que requieran cierta flexibilidad, por ejemplo, *sujeción bici* o los *pinchos* para ensamblar las *carcasas*. Hay que tener un excesivo cuidado para poner la pieza en el manillar de la bici y no romperla y, respecto a los *pinchos*, acaban por ceder con el tiempo y uso, siendo más recomendable hacer agujeros, con rosca, y ensamblar la carcasa con tornillos. Existen otros materiales que son más aptos para estas piezas.

De hecho, *sujeción bici* llegó a romperse debido a esa falta de flexibilidad. Al romperse la pieza, el soporte se mantuvo en el manillar pero girándose y dejando el móvil colgando. Esto quiere decir que el ensamblaje entre las carcasas es bastante bueno ya que ante un cambio brusco y, con el peso del móvil, podría haberse separado, estrellando el móvil contra el suelo.

El ensamblaje mediante los *pinchos* se realizó así para ver si era posible este método de ensamblaje, ya existían otras piezas que tendrían rosca de las que obtener conclusiones en su fabricación. Tras lo visto, es un método viable aunque diseñar el ensamble con tornillo es mucho más simple, rápido y fiable.

Respecto a las piezas del interior, las *guías* se desplazan de manera suave y, los topes hacen bien su función. No hay señal aparente de que se salgan las *guías* de su posición.

Con la *semibola*, *sujeción bici* y *fijar 3*, el apriete es muy bueno aunque, se echa en falta una arandela para mejorar un pequeño deslizamiento tras fijar las piezas. Este es mínimo, no afecta en la práctica.

El bloqueo del móvil tenía sus dudas respecto a que la *pieza dentada* estaba unida a una barra pero que, en la práctica, no ha dado ningún problema. De hecho el bloqueo aguantó, tras romper *sujeción bici*, impidiendo que se estrellara el móvil.

El detalle a corregir, en esta zona, es el espacio que queda entre la carcasa y las piezas que bloquean la *pieza dentada* debido a que no se puede apurar el apriete. En la práctica no es problema debido a que esta holgura es inferior a los relieves de bloqueo en la carcasa y que, con la mejora propuesta, este problema es evitable para futuras fabricaciones.

Siempre y cuando no se fuerce demasiado al fijar el soporte al móvil, el funcionamiento es correcto. De hecho, es bastante mejor de lo esperado. En asfalto, subidas y bajada de bordillos o caminos de tierra con pequeños baches continuos, el soporte se comporta realmente bien, manteniendo la posición. Ante las vibraciones, ocasionadas por un gran desnivel en el terreno, el soporte cede pero no demasiado, el cambio de posición es evidente pero no se desploma como en el caso de rotura. Estos cambios de posición son normales en estos casos, también sucede con el soporte original.

Dicho esto, el producto fabricado es totalmente funcional para cuando vas sobre asfalto o en terrenos de tierra, evitando grandes desniveles en el terreno, al igual que cualquier soporte en el mercado.

Para concluir, las expectativas al comienzo del proyecto han sido superadas con creces, las prestaciones del producto son similares a las del soporte original, al menos durante el tiempo que ha sido probado. Sería necesario darle un uso mucho más continuo para ver los resultados después de un largo periodo y poder realizar una mejor comparación entre los dos.

ANEXO 1: SOFTWARE

CATIA

El software utilizado para el diseño 3D en este trabajo ha sido Catia.

Catia es un programa comercial de diseño y fabricación constituidos por una gran variedad de módulos en los que no se va a entrar en detalle en este proyecto. La idea no es realizar una guía sobre cómo diseñar en Catia, no es el objetivo del proyecto, por lo que este apartado se centrará en los detalles a tener en cuenta cuando estas diseñando para fabricar mediante métodos aditivos.

En primer lugar es necesario conocer el tamaño de la impresora. La pieza debe encontrarse dentro de los límites de impresión, si la pieza fuese demasiado grande habría que pensar en dividirla en diferentes partes y en cómo ensamblarlas.

Aunque la pieza completa entre en la zona de impresión, puede darse el caso que sea conveniente dividirla. Como ejemplo, se va a exponer una esfera, una pieza simple y con un apoyo en la cama inestable.

- Fabricar la pieza completa. La pieza es única y no necesita ensamblaje pero al fabricar con un solo extrusor es posible que la pieza presente una superficie rugosa en la zona de unión del material de apoyo con la pieza. Se puede realizar un post-tratamiento para mejorar dicha zona.
- Para conseguir una superficie más homogénea y uniforme posible, una opción posible es dividir la pieza por la mitad. En este caso, se podría evitar que la superficie expuesta tenga contacto con material de apoyo aunque requiere ensamblaje.

Dependiendo de lo que se quiera obtener, habrá que estudiar la mejor opción posible. Es recomendable pensar también en el posicionamiento, teniendo en cuenta que en Z la tolerancia es mejor. Un ejemplo sería los agujeros, el resultado es mejor levantarlo en Z que fabricarlo tumbado (XY) aunque, no siempre es posible conseguirlo. Otros consejos al diseñar el agujero es que estos sean simples, evitar detalles como el avellanado, y diseñarlo en forma de gota de agua para mejorar la tolerancia, precisión y repetitividad. Si el agujero es grande y se fabrica en el eje Z, con un buen diseño en forma de gota de agua es posible evitar el material de apoyo aunque, no siempre es posible adaptar esta forma.

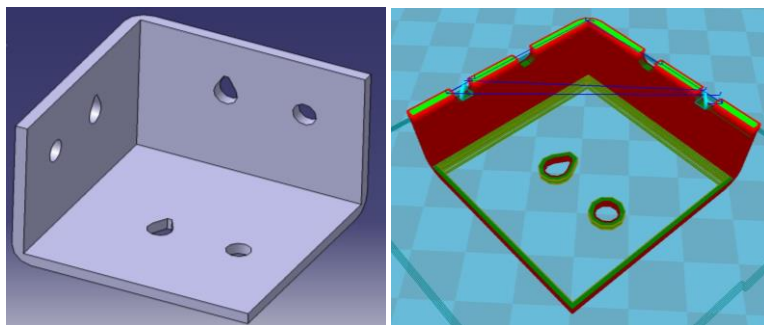


Figura A-1: Ejemplo de agujeros en forma de gota de agua.

También es importante conocer las limitaciones de tu impresora. Existe un límite de espesor mínimo para imprimir sin problemas, es decir, la impresora puede dar fallo, o no imprimir partes de la pieza donde el espesor es inferior al mínimo. Esta limitación depende de la impresora, una de bajo coste podría dar errores para espesores inferiores a un milímetro aproximadamente.

En caso de escalar la pieza, hay que tener en cuenta la limitación anterior.

Lo más habitual es que se dé una geometría con una determinada inclinación en diferentes zonas de la pieza, el ángulo de la inclinación se mide desde la vertical. Si esta es demasiada alta puede que el material no se deposite sobre la capa anterior correctamente y caiga. La inclinación para una correcta fabricación ronda los 42° y depende de muchos factores, desde el entorno hasta parámetros de configuración de impresión. No se considera una limitación ya que, en caso de que la pendiente sea mayor se puede utilizar material de apoyo aunque, si puede evitarse, es un paso que facilita la producción.

En la imagen de la izquierda, podría intentarse fabricar sin material de apoyo. El ángulo de 20° es muy inferior al crítico mientras que el de 42° es el crítico. En la derecha hará falta al menos material de apoyo en el lado izquierdo de la pieza al superar por bastante el ángulo crítico.

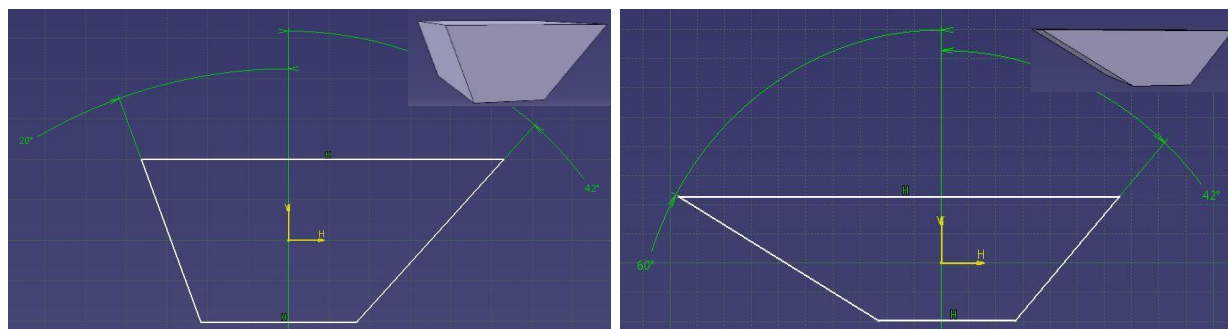


Figura A-2: Inclinación con ángulo crítico, menor (izq) o mayor (der).

El ángulo crítico es un valor orientativo, de hecho es un valor bastante conservador. No se trata de un ángulo fijo debido a que depende de muchos factores, puede fabricarse sin material de apoyo con ángulos mayores del crítico sin problemas pero, cuanto más grande sea la diferencia, mayor riesgo de desprendimiento de la capa. Un ejemplo es la pieza *sujeción bici*, de este proyecto, la cual se fabricó sin material de apoyo en zonas donde la inclinación alcanzó valores próximos a los 50° , mientras que cura está configurado para levantar el apoyo a partir de los 60° . En estos casos, donde el ángulo es mayor que el crítico, es conveniente configurarlo con velocidades bajas, reduciendo el riesgo de desprendimiento de capa.

Para inclinaciones muy altas, cercanas a ser líneas horizontales ($\approx 90^\circ$), podría estudiarse la opción de diseñarlo como un puente. No siempre es posible adaptarlo, en esos casos se utilizaría material de apoyo en esas zonas. La siguiente figura tiene una inclinación de 80° y es posible rediseñarla para que sea horizontal.

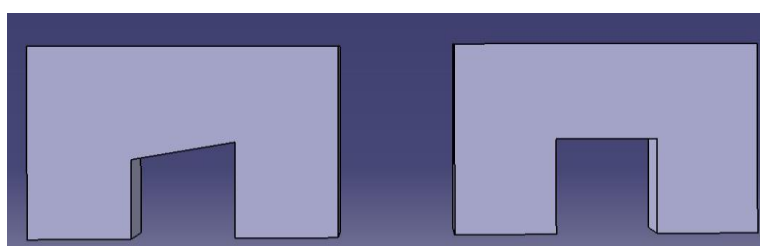


Figura A-3: Modificación diseño

Cuanto mayor sea la distancia del puente, más crítico será. La configuración puede ser bastante compleja dependiendo de la geometría. En el *anexo 2* se explica en mayor detalle los defectos que pueden ocasionar los voladizos y las posibles soluciones.

Se puede observar que en realidad se trata de pequeños detalles que favorecen a la producción de la pieza mediante la fabricación aditiva pero no determinantes, donde las limitaciones residen en la capacidad de la impresora a utilizar.

Una alternativa a Catia es Blender, se trata de un software libre dedicado también al modelado de piezas tridimensionales. Catia es un software más orientado hacia la ingeniería mientras que Blender está más pensado en la animación aunque, ambos programas son potentes para realizar modelado de objetos tridimensionales.

COREL DRAW

En este programa se ha vectorizado la imagen, guardado como un archivo CAD y abierto con Catia. Tras algunos retoques, se ha copiado y pegado en un sketch para su posterior vaciado, obteniendo el relieve de la imagen anterior.

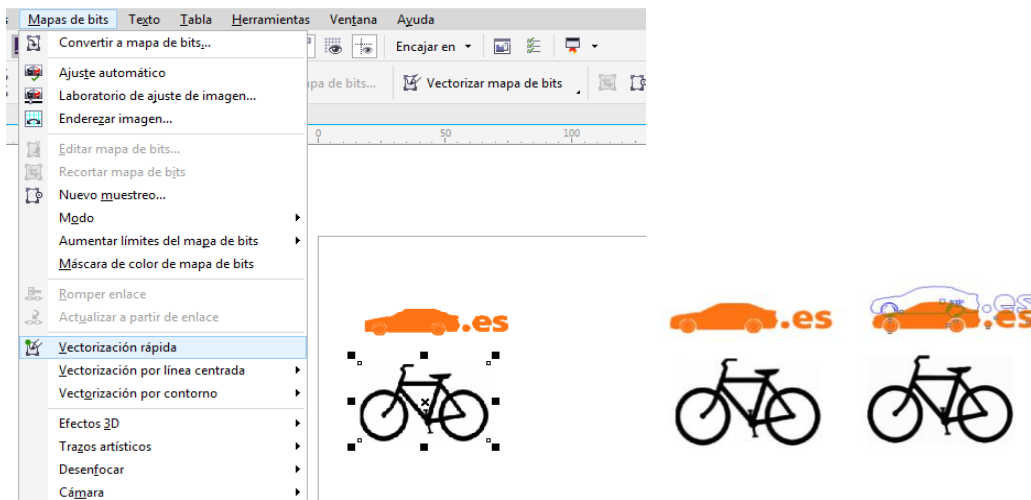


Figura A-4: Corel Draw

El uso que se le dio al programa fue muy básico, una vez cargada las imágenes se selecciona mapa de bits, vectorización rápida.

Sobre la imagen se crea la misma imagen pero ya vectorizada. Como se puede ver en la imagen anterior, si se selecciona y desplaza a otra zona se pueden ver ambas imágenes. La que muestras líneas al desplazarlo es la que interesa guardar como archivo CAD.

Una vez se tiene el archivo, se abre desde *Catia* en el módulo “*Drafting*”. Una vez realizada las modificaciones oportunas se copia la forma final y se pega en un boceto. Preparado el sketch se realiza un vaciado, obteniendo el relieve final.

NETFABB

Netfabb Studio es un software que se va a utilizar principalmente para visualizar, verificar y reparar archivos STL.

Netfabb Studio puede proporcionar otras funciones aparte de las mencionadas como cortar la pieza, crear y editar formas, posicionar y escalar piezas, entre otras. Dichas acciones se realizaran en otros programas de los mencionados a lo largo de este apartado.

En primer lugar, insertar la pieza. Para ello, se arrastra el archivo STL o abrir un archivo desde la barra de herramientas pulsando en la pestaña “Project”.

Una vez abierto aparece la pieza seleccionada en el programa, si aparece un símbolo de error, abajo a la derecha, el modelo es defectuoso. Las zonas defectuosas aparecerán en rojo.



Figura A-5: Error



Figura A-6: Reparar

En este caso, pulsar sobre la pestaña reparar. La mayoría de los casos se reparan de forma automática. En la zona inferior del programa, pulsar sobre reparar de forma automática (por defecto) y aplicar la reparación. Por último exportar a STL el archivo reparado (seleccionar pieza con el botón secundario del ratón).

También se puede reparar de forma manual, resumido brevemente en la siguiente imagen.

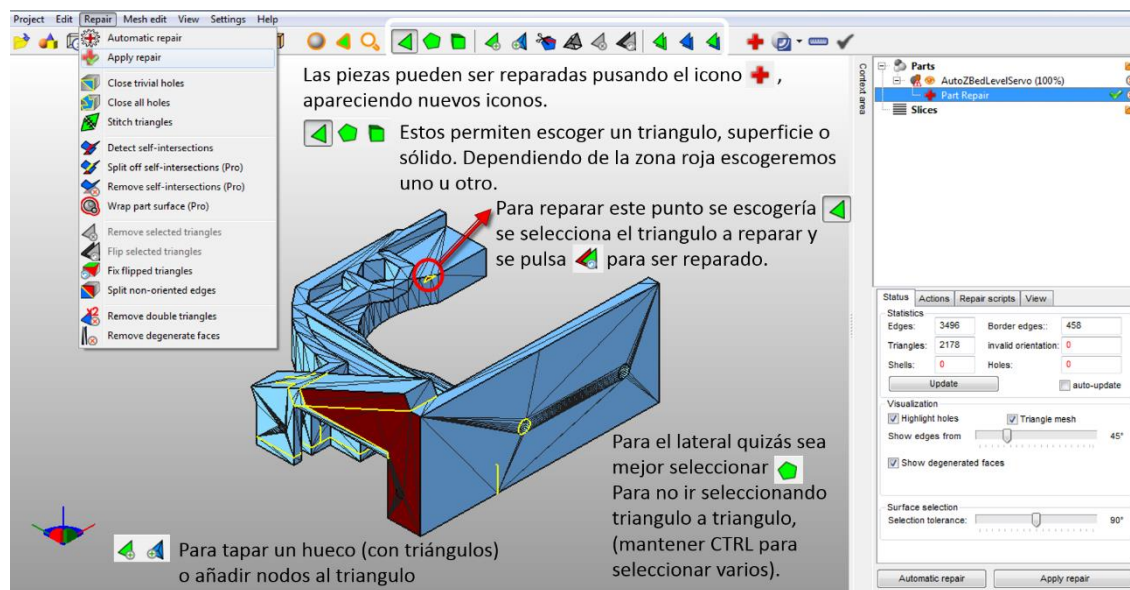


Figura A-7: Reparación pieza de forma manual.

Una vez eliminada las zonas rojas, guardar y exportar a STL el archivo reparado.

A veces no se aprecian las zonas rojas, en cualquier caso si aparece el símbolo de error, se repara la pieza.

Otros programas, como cura, permiten reparar el objeto según la opción configurada en el menú experto. Esto puede dar lugar a otros fallos que no existían anteriormente, por lo que, es recomendable utilizar este software para verificar el modelo antes de pasar a configurar los parámetros de impresión.

Una vez verificado que el modelo es correcto, el siguiente paso es la configuración del G-Code. Se va a presentar dos programas, cura y slic3r.

CURA

Cura es un software libre utilizado para laminar un diseño 3D. Al laminar la pieza, los comandos o instrucciones son compatibles con la impresora 3D cuya fabricación consiste en el levantamiento de la pieza tridimensional capa a capa. Esta lista completa de instrucciones forma un archivo, denominado G-Code.

En primer lugar, se realiza la configuración del programa para introducir los datos de la impresora a utilizar. Esta configuración se puede realizar desde la pestaña “máquinas”.

El entorno de cura se puede dividir en tres partes bien diferenciadas.

- 1) **Barra de herramientas.** Típica barra que aparece en la mayoría de programas.

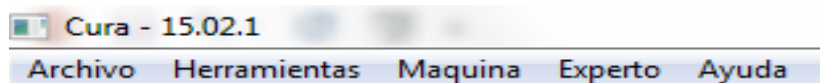


Figura A-8: Barra de herramientas.

Archivo

- Se pueden cargar el STL a configurar o guardar el g-code una vez configurado. La opción más importante en esta pestaña sería preferencias, donde se define parámetros como la densidad del filamento. El archivo puede cargarse arrastrando el STL al área de impresión y guardar el g-code desde un icono en el área de impresión.

Herramientas

- Para cuando hay más de un objeto. Permite fabricar todas a la vez o de uno en uno.

Máquina

- Puedes añadir y modificar o visualizar datos de la impresora. Seleccionar la impresora correcta antes de imprimir.

Experto

- Permite elegir entre un ajuste rápido (sin apenas configuración) o completo. En caso del completo, se puede modificar varios parámetros avanzados.

Ayuda

- Ofrece documentación sobre el software, reporte de problemas, actualizaciones...

Desde la pestaña máquina, podemos añadir o modificar una impresora. Los datos que piden se pueden ver en la siguiente imagen.

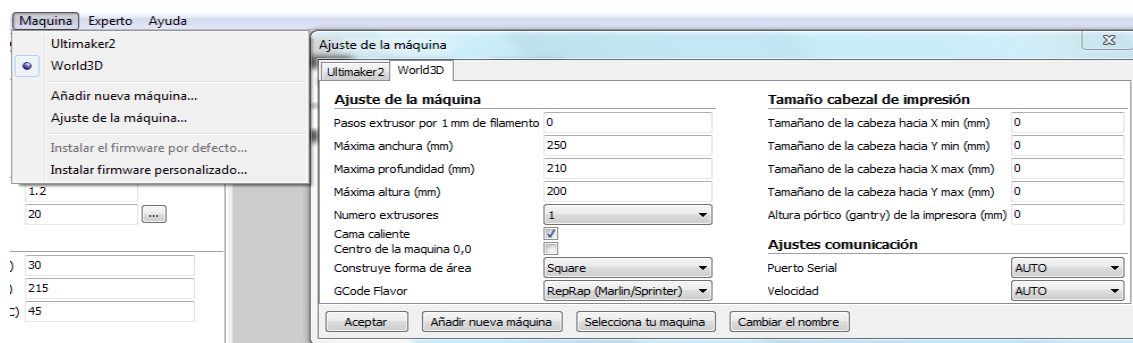


Figura A-9: Ajustes de la máquina.

Pasos del extrusor por 1mm de filamento:

- Define los pasos que tiene que dar el motor por cada mm de filamento extruido. Se recomienda configurar este parámetro en el firmware e introducir aquí el valor 0.

Máxima anchura/profundidad/altura:

- Valores máximos reales del área de impresión en ejes coordenados.

Número de extrusores

- El número de extrusores de la impresora.

Cama caliente:

- Activar si la impresora cuenta con cama caliente.

Centro de la máquina 0,0:

- Si esta opción está habilitada, establece el centro de la máquina en el punto 0,0.

Forma del área de impresión:

- Esta puede ser cuadrada o circular.

GCode flavor:

- Seleccionar el que se adapte a la impresora.

Tamaño cabezal de impresión:

- Estos parámetros se usan para determinar el tamaño del HotEnd y de los elementos que tengamos entorno a este. Es necesario rellenar estos parámetros si queremos imprimir múltiples objetos de forma simultánea y que ninguna parte del extrusor golpee a las piezas ya creadas.

Ajustes de comunicación:

- Estos parámetros establecen tanto el puerto al que tenemos conectado la impresora como la tasa de transferencia de datos. Se pueden poner ambas opciones en "AUTO" siendo el programa el determine estos parámetros.

2) Lateral de configuración.

Desde la pestaña experto, se puede escoger realizar una configuración rápida o detallada. En el caso de la rápida, las opciones son mínimas y la calidad de la pieza puede ser comprometida debido a la poca flexibilidad que da el programa en este caso.

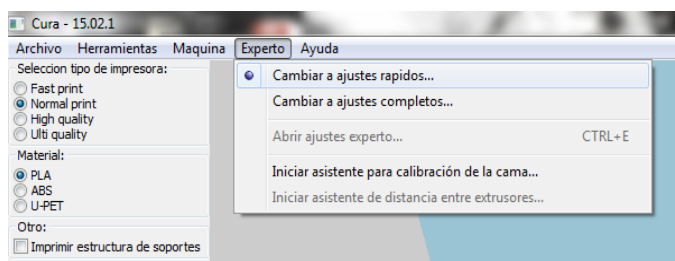


Figura A-10: Ajustes rápidos.

Lo recomendado es realizar el G-Code seleccionando un ajuste completo. Una vez seleccionado se puede ver en el lateral que aparecen cuatro pestañas.

Básico	Avanzado	Plugins	Start/End G-code
<ul style="list-style-type: none"> Parámetros de impresión. Son los que más influencia tienen en la calidad final del producto. 	<ul style="list-style-type: none"> En general son parámetros de nuestra máquina. 	<ul style="list-style-type: none"> Complementos para agregar características nuevas a Cura 	<ul style="list-style-type: none"> Códigos que influyen al principio y final de la impresión. Se necesita tener conocimientos de G-code.

A parte de las cuatro pestañas, también se podrá realizar la configuración de parámetros expertos, comentado en mayor detalle más adelante.

Entrando en detalle en la configuración **básica**:

CALIDAD		
Altura de capa:	Parámetro importante para la calidad y tiempo de fabricación de la pieza. Este debe ser inferior a la boquilla del extrusor (< 80%). Configuraciones habituales son:	
	Calidad alta	0,1 – 0,15
	Calidad media	0,2 – 0,25
	Calidad baja	0,3 – 0,4
Espesor de pared:	El aumento de este mejora la resistencia de la pieza (capas con 100% de relleno). Este valor debe ser múltiplo del diámetro de la boquilla del extrusor. Lo normal suele ser 2 o 3 vueltas, es decir, si la boquilla es de 0,4 un valor normal de este sería 0,8 ó 1,2. Determina el ancho del borde de la pieza.	
Habilitar retracción:	Cuando el HotEnd tiene que ir de un punto a otro sin extruir material, por acción de la gravedad y los motores, se descuelga un pequeño hilo de filamento. Habilitarlo reduce la cantidad de hilos finos. Es preferible tenerlo habilitado a no ser que se quiera imprimir más rápido o trabajar con un material que no permita la retracción.	

Tabla A-1: Calidad. Configuración básica.

RELLENO	
Espesor superior e inferior	El aumento de este hará la pieza más resistente (capas 100% de relleno). Este valor debe ser múltiplo de la altura de capa. Lo normal suele ser 3 o 4 vueltas, es decir, si la altura de capa es de 0,2 un valor normal de este sería 0,6 ó 0,8. Para tener un mejor acabado en algunas piezas este valor puede necesitar alguna vuelta más.
Densidad relleno	Ajusta la densidad de relleno de la parte interna de la pieza. Esta rejilla está para dar fuerza y apoyo a las capas superiores. Este valor dependerá del material usado para fabricar el producto. Es un parámetro influyente en el tiempo y coste de fabricación.

Tabla A-2: Relleno. Configuración básica.

Cuanto mayor temperatura, más rápido puedes imprimir pero una excesiva temperatura puede causar daños al HotEnd o, una insuficiente, provocar defectos o atascos. Según el material existe un rango de temperaturas con el que se puede trabajar.

VELOCIDAD	
Velocidad de impresión	La velocidad dependerá de la impresora y del material que se utilice. A mayor velocidad se reduce el tiempo a cambio de una peor calidad en la pieza.
Temperatura impresión	Temperatura del extrusor a la que imprime el material. Esta temperatura dependerá del material utilizado.
Temperatura de la cama	Temperatura de la cama. No todas las impresoras tienen esta opción, es útil para la adhesión de las primeras capas a la cama. Esta temperatura dependerá del material utilizado.

Tabla A-3: Velocidad. Configuración básica.

Muchos objetos necesitan soporte para levantar y asegurar una adecuada impresión. Para retirar el material de soporte lo ideal es que la máquina sea al menos de dos extrusores (uno de ellos para material de soporte y otro para el de fabricación). También es posible con un extrusor, el material de apoyo se retira bien aunque requiere post-tratamiento en las zonas de contacto apoyo-pieza.

SOPORTE	
<p><u>Tipo de soporte.</u></p> <p>Coloca material de soporte en las zonas necesarias. Son zonas de la pieza que quedan en el aire y no pueden sustentarse por sí solas.</p>	<p>Nada: Esta opción no crea material de apoyo y siempre que sea posible es la mejor opción.</p>
	<p>Tocando la cama caliente: Únicamente crea soporte donde la estructura de apoyo contactaría con la base.</p>
	<p>Cualquier sitio: Crea apoyo en cualquier zona de la pieza. Es la opción más segura pero quizás no sea la más óptima siendo mejor opción el caso anterior (esta opción a veces es inevitable por la geometría de la pieza).</p>
<p><u>Tipo de adhesión en la cama.</u></p> <p>Crea una plataforma en la base para mejorar la adhesión durante la impresión.</p>	<p>Nada: No hay superficie de adherencia, la primera capa sería ya la pieza.</p>
	<p>Brim: Realiza perímetros alrededor de la pieza que son fáciles de retirar de la pieza y ayudan a la adherencia de la pieza durante la impresión.</p>
	<p>Raft: Antes de comenzar la pieza, imprime una capa base formada por trazos gruesos y finos. Esta capa se retira al finalizar y puede penalizar el acabado en esa zona y, en general, no se recomienda. En ciertos materiales es muy útil, por ejemplo, para eliminar el warping en piezas de ABS.</p>

Tabla A-4: Soporte. Configuración básica.

Aquí se introducen los datos del filamento. Es importante indicar el diámetro lo más exacto posible para evitar posibles futuros defectos en la pieza.

FILAMENTO	
Diámetro	Es el diámetro del filamento que vas a utilizar para fabricar la pieza.
Flujo	Es un factor que define la cantidad de material que extruye el extrusor. Si los hilos no quedan bien unidos será necesario elevar este valor, en cambio si extruye demasiado material habría que bajarlo. Esto se puede deber a un mal comportamiento del extrusor o que el diámetro es ligeramente diferente. Si todo esto es correcto el valor ideal sería 100.

Tabla A-5: Filamento. Configuración básica.

La siguiente pestaña es la configuración **avanzada**:

MÁQUINA	
Tamaño de boquilla	Este es preferible que sea pequeño (mejor calidad, filamentos más finos) pero hay materiales, como el filaflex, que limitan el tamaño mínimo de este (0,6) por riesgo a obstrucción de la boquilla. Típicos: 0.35, 0.4 y 0.5.

Tabla A-6: Máquina. Configuración avanzada.

La retracción es el retroceso del material en momentos en el que la impresora se desplaza sin extruir. De esta forma reduce el goteo de material y defectos en la pieza como el encordado.

RETRACCIÓN	
Velocidad	Es la velocidad a la que realiza la retracción.
Distancia	Indica la cantidad de filamento que va a retraer.

Tabla A-7: Retracción. Configuración avanzada.

CALIDAD	
Espesor capa inicial	Espesor de la primera capa. Para mantener la capa inicial al resto de capas, marcar 0. Este parámetro va a repercutir en la adherencia por lo que no es recomendable que sea elevado.
Ancho de línea de la capa inicial	Establece el ancho de línea en la primera capa. Afecta directamente al flujo de la primera capa, mejorando la adherencia cuanto mayor cantidad de material deposite en la primera capa.
Cortar fondo del objeto	Este parámetro corta la pieza a la distancia marcada y la hunde, empezando la impresión a la altura que se desee.
Superposición de la extrusión dual	Durante la fabricación con una máquina de doble extrusor, realiza una superposición de los dos colores, de manera que se obtiene una mejor unión entre los colores. Si no se dispone de doble extrusor, su valor es 0.

Tabla A-8: Calidad. Configuración avanzada.

VELOCIDAD	
Velocidad desplazamientos	Es la velocidad de movimiento del extrusor de un punto a otro sin extruir filamento.
Velocidad capa inferior (Primera capa)	Es la velocidad de impresión de la primera capa. Es importante que la primera capa, para una mejor adherencia, se realice a una velocidad inferior a la de impresión.
Velocidad relleno	Es la velocidad a la que se va a realizar la parte interna de la pieza. La velocidad se puede aumentar sin afectar a la calidad de la pieza. Este aumento dependerá de la máquina, si elevas demasiado la velocidad puede llegar a reducir la calidad del producto.
Velocidad borde superior e inferior	Velocidad del borde inferior y superior de la pieza.
Velocidad del borde externo	Define la velocidad a la que realiza la capa exterior de la pieza. El acabado de la pieza depende en gran medida de este parámetro por lo que es conveniente realizarlo a velocidad reducida.
Velocidad del borde interno	Define la velocidad a la que realiza el borde interno de la pieza. Este borde estará relacionado con el espesor de pared (pestaña “básico”). Al ser bordes no visibles se puede aumentar la velocidad respecto al externo.

Tabla A-9: Velocidad. Configuración avanzada.

VENTILACIÓN	
Tiempo mínimo por capa	El tiempo mínimo de una capa para enfriarse y no deformarse con la siguiente capa. Si pasa a la siguiente demasiado rápido y no le da tiempo a enfriarse, la pieza va a tener un acabado muy malo, incluso deforme.
Habilitar ventilación	Esta casilla habilita el ventilador de capa que apunta directamente a la pieza para ayudar a enfriar las capas más rápido y poder imprimir más rápido. Algunas máquinas no poseen este ventilador o es opcional su incorporación.

Tabla A-10: Ventilación. Configuración avanzada.

A continuación se va a mostrar la configuración **experta**. Esta no se encuentra en una pestaña como las dos anteriores. Se puede acceder a la configuración de los parámetros expertos de tres formas distintas:

- Pulsar en la barra de herramientas en la pestaña “experto” y “abrir ajustes experto”.
- Pulsar Ctrl+E.

- En las pestañas de básico y avanzado se encuentran varios iconos, pulsándolos vas entrando en los diferentes apartados que lo conforman.

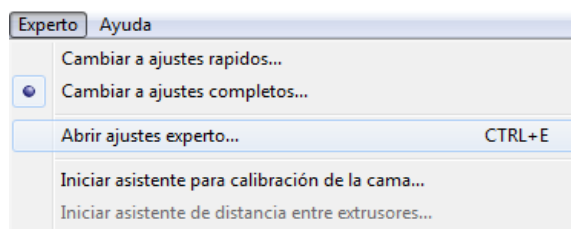


Figura A-11: Ajustes expertos

RETRACCIÓN	
Desplazamiento mínimo	Mínimo desplazamiento para realizar la retracción del filamento.
Combing	Evita que el extrusor pase por orificios o huecos si marca all, además de la retracción.
Mínima extrusión antes de retraer	Mínima cantidad que debe extruir antes de realizar la retracción. Si no llega a esta mínima cantidad ignora la retracción.
Elevación del eje Z al retraer	Esta opción eleva el eje Z cada vez que realiza desplazamientos. No es recomendable para piezas sencillas ya que aumenta el tiempo de producción. Es útil para mejorar las piezas con muchos pequeños detalles y compleja. Un valor posible podría ser el doble de la altura de capa que se esté usando.

Tabla A-11: Retracción. Configuración experta.

Son líneas extras que rodean al modelo que se va a imprimir. Esta es útil ya que al comenzar la extrusión no es totalmente homogénea llevándose la peor parte el perímetro extra. Se recomienda no bajar de las tres líneas de perímetro extra.

SKIRT	
Número de líneas	El número de líneas que conforman el perímetro extra de la pieza.
Distancia al objeto	Distancia entre la pieza y el perímetro extra.
Longitud mínima	Longitud mínima que tendrá el perímetro. Una vez termine el número de líneas, si la longitud no supera el mínimo este continuará dando vueltas hasta cumplir el mínimo. De esta forma te aseguras limpiar correctamente el extrusor en las piezas pequeñas, cumpliendo un mínimo.

Tabla A-12: Skirt. Configuración experta.

Afectan a la forma en la que se va a enfriar la pieza. Una mala ventilación puede afectar gravemente a la calidad de la pieza.

VENTILACIÓN	
Ventilador activo a cierta altura	Activa el ventilador a partir de la altura seleccionada. Por debajo va a velocidad mínima, por encima a velocidad máxima.
Velocidad máxima del ventilador	Establece la velocidad máxima del ventilador. Dependerá del ventilador, habrá que regularlo ya que un flujo excesivo enfriará la pieza demasiado rápido y puede hacer que aparezcan grietas.
Velocidad mínima del ventilador	Establece la velocidad mínima del ventilador.
Velocidad mínima	Velocidad mínima de impresión. Si la velocidad es demasiado lenta, el material se va a recalentar deformando la impresión, por este motivo es necesario fijar un mínimo.
Elevación para enfriar (cool head lift)	Si está marcada, el extrusor sube si el tiempo de enfriamiento entre capa y capa no ha alcanzado el mínimo, dando tiempo a que este se enfríe y separarse para no recalentar el material.

Tabla A-13: Ventilación. Configuración experta.

RELLENO	
Relleno sólido superior	Al marcar esta opción, las capas superiores serán sólidas, sin afectar la densidad de relleno escogida.
Relleno sólido inferior	Al marcar esta opción, las capas inferiores serán sólidas, sin afectar la densidad de relleno escogida.
Superposición del relleno	Cantidad de relleno que se va a solapar en los bordes.

Tabla A-14: Relleno. Configuración experta.

SOPORTES	
Tipo de soporte	Se da dos opciones. La estructura de soporte puede ser de línea (line) o cuadrícula (grid). Elegir la que mejor se adapte al modelo, en general grid da mejores resultados.
Ángulo máximo para apoyo	Ángulo máximo para el cual se empezaran a fabricar soportes. 0° sería construcción vertical y el ángulo irá aumentando cuando la pendiente va reduciéndose. El máximo depende de la máquina, clima y otros factores pero se encuentra entre 40° y 45°
Cantidad de relleno	Fija la cantidad en % de relleno que se utiliza para los soportes.
Distancia X/Y	Separación entre los bordes del objeto y soportes. Si la distancia es demasiado pequeña puede dificultar la separación del soporte y pieza, obteniendo un peor acabado o incluso dañando la pieza. Valores típicos 0,6 a 0,8.
Distancia Z	Separación en Z, entre los bordes del objeto y soportes. Mitad de altura de capa suele funcionar bastante bien.

Tabla A-15: Soportes. Configuración experta.

BLACK MAGIC	
Espiralizar el contorno exterior	Esta opción imprime el contorno del objeto con una base sólida. Convierte un elemento sólido en un objeto hueco.
Sólo seguir superficie de malla	Esta opción imprime la superficie o cáscara del objeto, sin que se tengan en cuenta la base, el relleno o la capa superior.

Tabla A-16: Black magic. Configuración experta.

Brim es un perímetro grueso alrededor de la pieza para facilitar la extracción del material de apoyo y mejorar adherencia a la base.

BRIM	
Cantidad de bordes	El número de líneas que va a tener el perímetro para mejorar la adhesión. Cuanto mayor sea, mejor será la adhesión

Tabla A-17: Brim Configuración experta.

Raft es una plataforma formada bajo a la pieza. No es recomendable generalmente pero hay casos en los que puede resultar útil, por ejemplo, cuando se trabaja con materiales de un alto coeficiente de dilatación térmico. Estos materiales tienden a contraerse cuando el material se enfría provocando grandes tensiones internas y defectos como warping. Al estar la plataforma de apoyo, se reduciría este defecto.

RAFT	
Margen extra	Margen que sobresale la base de la pieza.
Espacio entre líneas	Fija la distancia entre las líneas que forman la malla.
Grosor de la base	Establece el grosor de la base.
Ancho de la línea base	Modifica el grosor de las líneas con las que se forma la base. Doble del tamaño de la boquilla funciona bien.
Espesor de la capa intermedia	Este parámetro fija el grosor de la capa intermedia de la base.
Espesor de la línea intermedia	Este parámetro fija el grosor de las líneas intermedias de la base.
Airgap	Distancia entre la última capa del Raft y el inicial de la pieza.
Primera capa airgap	Primera capa de la pieza
Espesor de la capa de superficie	Altura de capa del raft
Ancho de la capa de superficie	Ancho de las líneas del raft

Tabla A-18: Raft. Configuración experta.

Para intentar mejorar o reparar los objetos hay que ir a las últimas opciones de ajustes experto, "Fix horrible". Cura puede llegar a dar como resultado efectos no deseados en la interpretación del diseño 3D llegando a alterar el modelo original. La selección de una o varias de las siguientes opciones pueden reparar algún posible problema a la hora de imprimir ya que, Cura, interpreta el diseño 3D y puede realizar modificaciones no deseadas al modelo. También es cierto que la elección de cualquier opción puede llegar a penalizar a la impresión y que, en general, cura solventa la mayoría de problemas que haya podido surgir por lo que, tampoco es muy recomendable activarlas si no es en casos excepcionales.

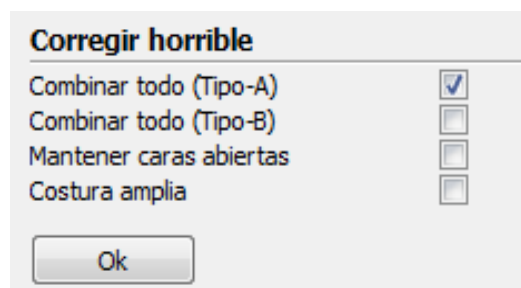
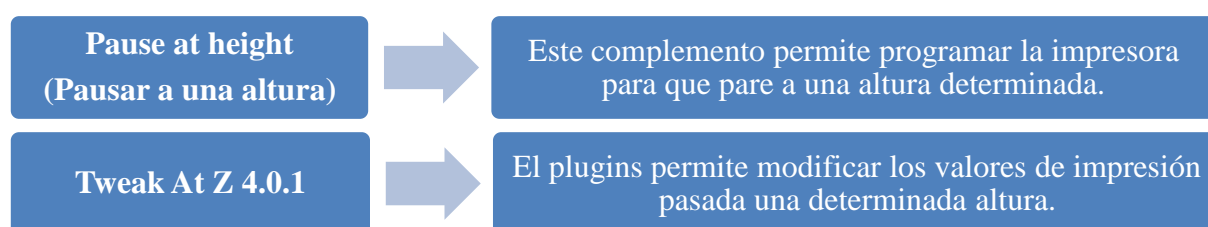


Figura A-12: Fix horrible. Configuración experta.

- Combinar todo (Type A): Une todas las partes del modelo en base a las normales intentando mantener los orificios internos intactos.
- Combinar todo (Type B): Une todas las partes del modelo ignorando orificios internos y conservando la capa exterior.
- Mantener caras abiertas: Mantiene abiertos pequeños huecos que pudiera tener el modelo. Por defecto CURA cierra los huecos o grietas pequeñas del modelo, ya que los toma como errores del diseño.
- Costura amplia: Repara los agujeros o grietas del modelo, cerrando los orificios que tengan polígonos que se toquen.

Continuando con la tercera pestaña, **plugins**:

Cura permite realizar complementos funciones que no son posibles con los parámetros anteriores. Por defecto hay dos funciones instaladas:



Se podría crear y/o descargar nuevos plugins e instalarlos como complementos al programa.

Por último, **start/end G-code**:

Se entiende por G-Code como un lenguaje de programación utilizado generalmente en las máquinas de CNC. Se trata de una lista de instrucciones que es interpretada, en este caso por la impresora, para el levantamiento de la pieza. En este código van definidos parámetros como temperaturas, velocidades, desplazamientos...

Tras la configuración de los diferentes parámetros se obtendrá el archivo G-Code. En esta pestaña se puede añadir líneas de códigos que influyen al arranque y final de la impresión. Por defecto, cura trae ya configurada unas líneas de código que se van a comentar brevemente a continuación.

Al inicio de la impresión se tiene una serie de códigos que definen la unidad de medida (mm), posiciones y extrusor con referencias absolutas respecto al origen (autohome). Mantiene el ventilador apagado.

A continuación realiza un autohome (G28), eleva el eje Z (15mm) a velocidad de desplazamiento, extruye 3 mm a 200 mm/s y comienza la impresión de la pieza.

Al final de la impresión, apaga el extrusor y la cama y manda ordenes de movimiento como subir el eje Z y un autohome en X e Y.

La siguiente tabla muestra un significado general de las líneas de código. Los números están representados por nnn y no se va entrar en detalle, estos pueden ser enteros o racionales según el contexto [30].

Letra	Significado
Gnnn	Comando GCode estándar, como moverse hasta un punto
Mnnn	Comando definido por RepRap, como encender un ventilador
Tnnn	Seleccionar la herramienta nnn. En RepRap, las herramientas son extrusores
Snnn	Parámetro de comando, como la tensión enviada a un motor
Pnnn	Parámetro de comando, como el tiempo en milisegundos
Xnnn	Una coordenada X, normalmente para moverse a ella. Puede ser un número entero o racional.
Ynnn	Una coordenada Y, normalmente para moverse a ella. Puede ser un número entero o racional.
Znnn	Una coordenada Z, normalmente para moverse a ella. Puede ser un número entero o racional.
Fnnn	Feedrate en mm por minuto. (Velocidad de movimiento del cabezal de impresión)
Rnnn	Parámetro - usado para temperaturas
Qnnn	Parámetro - Actualmente no utilizado
Ennn	Longitud a extruir en mm.
Nnnn	Número de línea. Utilizado para pedir la repetición de la transmisión en caso de errores de comunicación.
*nnn	Checksum. Usado para comprobar errores de comunicación.

Tabla A-19: Significado de la primera letra del código.

3) Área de impresión.

En esta zona aparece la pieza a fabricar. En primer lugar es escoger el posicionamiento con el que se va a fabricar, una buena colocación de la pieza puede ahorrar tiempo y material así como una mejora de la calidad, la tolerancia en Z es mejor que en el plano XY.



Figura A-13: Iconos del área de impresión.

Arriba a la izquierda del área de impresión, aparecen iconos para cargar, guardar G-code y compartir. También aparece la duración de fabricación y consumo de material.

Abajo a la izquierda del área de impresión, estos iconos permiten rotar, escalar y hacer simetría a la pieza. Hay que seleccionar la pieza para que aparezcan estas opciones.

Arriba a la derecha del área de impresión se pueden seleccionar diferentes vistas para ver la pieza.

- **Normal:** Es la vista habitual en cura, al cargar las piezas. Da una visualización de la pieza y permite el posicionamiento de esta.
- **Salientes:** Marca en rojo las zonas situadas al aire, como los voladizos y la apoyada sobre la cama.
- **Transparente:** Una visualización de la pieza que permite ver su interior. Se muestra el contorno de la pieza, incluida las ocultas. Las paredes se distinguen bien al utilizar diferentes tonos del mismo color.
- **Rayos X:** También es útil para ver el interior de la pieza. Esta depende de la perspectiva con la que ves la pieza. Marca en un color más suave las paredes que se encuentran en el interior de la pieza, vistas de frente, para ver otras paredes internas hay que ver la pieza desde otra posición.
- **Capas:** Muestra cada una de las capas de la que está formada la pieza, es como se realizaría la fabricación.

Existen alternativas a Cura que ofrecen una mayor libertad a la hora de fabricar. Un ejemplo es Slic3r.

Slic3r también se trata de un software libre utilizado para la laminación del modelo 3D. Permite modificar la mayoría de los parámetros de cura y, además, da la opción de tocar otros parámetros como por ejemplo la geometría del relleno, parámetros en zonas de puentes, opciones para reducir tiempo o en caso de utilizar varios extrusores, entre otras.

ANEXO 2: DEFECTOS DE IMPRESIÓN

En ocasiones, durante el proceso de impresión, pueden ocasionarse defectos en la pieza fabricada. A lo largo de este apartado se va a exponer una serie de defectos comunes que puedes llegar a encontrar al fabricar la pieza, así como las posibles soluciones que pueden llevarse a cabo.

Los defectos se pueden llegar a dar por diferentes motivos, desde la fase de diseño o configuración de parámetros, hasta fallos ocasionados por la máquina.

Desplazamientos de capa

Se observa que una o varias de las capas se fabrican desplazadas provocando escalonamientos en la pieza no previstos.

Los motivos principales de este fallo se deben a la máquina y tienen una fácil solución como se expone a continuación.

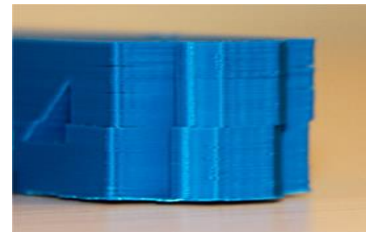
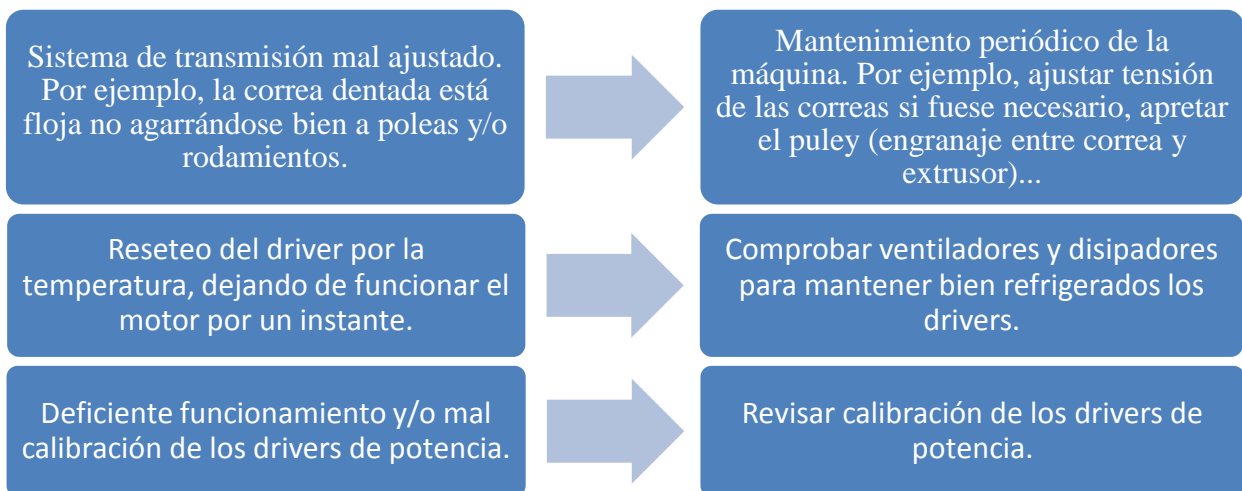


Figura B-1: Desplazamiento de capa 1.



También existen razones por las que aparecen desplazamientos independientes a la impresión 3D.

Soltarse y volver enchufar el USB que lo une al pc, los campos magnéticos fuertes, caídas de red en caso de imprimir desde el PC o si falla la red eléctrica, reiniciando PC e impresora son posibles causas que también puede producir desplazamiento en la pieza.

Figura B-2: Desplazamiento

Deformación en las capas

Si la pieza toma una apariencia deformada la causa principal se debe a que el tiempo de fabricación entre capas es insuficiente, pasando a la siguiente capa sin dar lugar a un correcto enfriamiento de la capa anterior. Esto provoca una fundición entre capas, produciendo una expansión de las paredes hacia fuera y bultos en la pieza dando como resultado la pieza deformada.



Figura B-3: Deformación de capas.

Este defecto tiene varias posibles soluciones.

- En caso de poseer un ventilador de capa, activarlo o modificar configuración para reducir el tiempo de enfriamiento de la capa.
- Reducir la velocidad de impresión en caso de no tener ventilador de capa.

Warping



Figura B-4: Warping 1.

Este defecto se detecta cuando la pieza se separa de la base por las esquinas, llegando a deformar el objeto.

Este problema se puede dar simplemente por el material utilizado ya que es un problema muy común en ciertos plásticos, por ejemplo el ABS o nylon, que tienen un alto coeficiente de dilatación térmica. Son plásticos que, por sus propiedades, tienden a contraerse cuando se enfrían por lo que, pasado un tiempo, las fuerzas internas son tan grandes que acaba provocando este efecto sobre la pieza.

Una posible solución sería crear una superficie bajo la pieza como material de apoyo, de forma que este defecto se lo lleve la superficie de apoyo, reduciendo considerablemente este defecto sobre la pieza real. Esta superficie de apoyo se configura en el G-code utilizando la opción raft cuando se configura los parámetros de impresión. También es conveniente controlar la refrigeración sobre la pieza en materiales con un alto coeficiente de dilatación térmica.

Existen otras causas como las que se describen a continuación.

- 1) Problemas de adherencia.
- 2) Ciertas geometrías que son más propensas al warping debido a las tensiones internas que se van formando a medida que el material se enfría.
- 3) Cama desnivelada, la primera capa no se adhiere de forma uniforme.



Figura B-5: Warping 2.

La eliminación de warping puede llegar a ser muy complicado en ciertas ocasiones, para ello es conveniente tener en cuenta diferentes aspectos.

- 1) Mejorar la adherencia.
 - a. Existen productos que ayudan a la mejora de adherencia, por ejemplo la laca.
 - b. Precalentar la cama también mejora la adherencia. La temperatura de esta dependerá del material.
- 2) Respecto a las geometrías complejas, reducir el porcentaje de relleno y aumentar en número de perímetros para ayudar a reducir las tensiones internas.
- 3) Tener la cama bien nivelada y calibración del eje Z.

Base curvada

Este defecto se observa en la base de la pieza, esta se deforma debido a una excesiva temperatura en la cama provocando que el material se quede en un estado semisólido, de forma que estos son aún maleables cuando las capas posteriores se depositan sobre estas. A partir de una cierta altura el calor proveniente de la cama será el adecuado para fabricar la pieza pero, hasta esta altura, el material permanecerá templado y maleable dando lugar a este defecto.

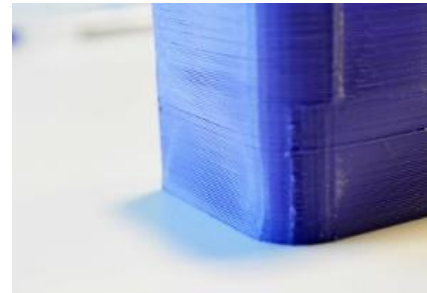


Figura B-6: Base curvada.

Para evitar este problema, se recomienda reducir la temperatura de la cama de forma que dé tiempo a enfriarse y endurecerse el material para el correcto levantamiento de la pieza. Cada material tiene un valor de temperatura que optimiza la fabricación pero, en realidad, afectan otros factores como la impresora o el entorno donde se realiza la impresión, por lo que, existirá un rango de posibles temperaturas con las que probar hasta encontrar el óptimo.

Debido a que el problema reside en que el material no llega a enfriarse, otra posible solución es activar el ventilador de capa para enfriar el hilo nada más depositarlo.

En cualquier caso es recomendable tener activo siempre el ventilador sobre todo en piezas de secciones pequeñas donde el tiempo de fabricación entre capas puede resultar muy pequeño y no da tiempo a enfriarse la pieza correctamente dando lugar a otros defectos en la pieza. La excepción puede ser según el material que se utilice, casos como el ABS que tienden a contraerse cuando se enfrían.

Perdida de la forma



La pieza se despegaba de la base, la impresora continuaba extruyendo correctamente pero, al desviarse la pieza, las capas no se situaban en la posición correcta por lo que, las capas no se adhieren unas a otras.

Figura B-7: Perdida de la forma.

Los motivos más probables para que ocurra esto se debe a:

- 1) Mala calibración de la plataforma. Si la holgura entre la boquilla y la cama es demasiada, el plástico no se aplastará sobre la cama correctamente y es posible que se acabe despegando.
- 2) Una mala preparación de la cama con temperaturas demasiado bajas para un cierto material. Según las propiedades del material, existe un rango de temperaturas con la que la impresión es más eficiente, la solución sería escoger la temperatura de cama que mejor le venga al material utilizado.
- 3) Si la temperatura descende la temperatura de la cama durante la impresión que puede darse por un fallo de los sensores. Se requerirá la comprobación del estado de la alimentación eléctrica de la cama y del termistor.

Delaminación

La pieza presenta grietas por separación de las capas impresas. Los factores que influyen sobre este problema son varios, por lo que darle solución es una ardua tarea.

Las causas más probables son:

- 1) Mala adherencia entre capas.
- 2) Tensiones internas en ciertas geometrías.
- 3) El coeficiente de dilatación térmica.
- 4) Entornos de impresión fríos.
- 5) Mala configuración de los parámetros de impresión.



Figura B-8: Delaminación 1.

Mientras que posibles soluciones serían:

- Utilizar un material alternativo con un menor coeficiente de dilatación.
- Controlar el entorno donde se realiza la impresión. Mantener una temperatura ambiente que no sea demasiada fría para conseguir un enfriamiento más gradual.
- Aumentar la temperatura de extrusión o reducir la velocidad de impresión favoreciendo así la adherencia entre capas.
- Reducir las tensiones internas de la pieza, disminuyendo el relleno de esta.
- Aumentar unas vueltas el perímetro de la pieza para mejorar la adherencia en la zona donde comienza la delaminación.
- Reducir altura de capa para obtener una mejor adherencia.



Figura B-9: Delaminación 2.

En las piezas, las grietas suelen aparecer sobre todo cuando la pieza es grande. El motivo es que el calor proveniente de la cama caliente no llega a las capas más altas llegando a producir grietas al despegarse una capa de otra. Este problema en concreto tiene pocas soluciones prácticas, uno de ellos es utilizar determinados materiales, como el PLA o el XT o subir lo máximo posible la temperatura de la cama sin que lleguen a aparecer otros defectos como el de bases curvadas.

Otra opción posible es ver si el ensamblaje es una opción posible en el caso de que surja este problema debido al tamaño de la pieza.

Hendidura de capas

La pieza presenta huecos horizontales en las paredes, esto se debe a que no se ha depositado correctamente o falta de algunos perímetros.

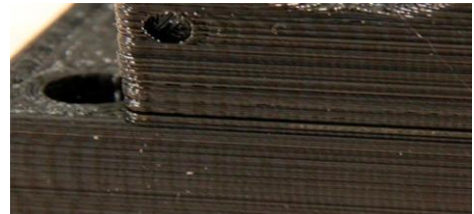
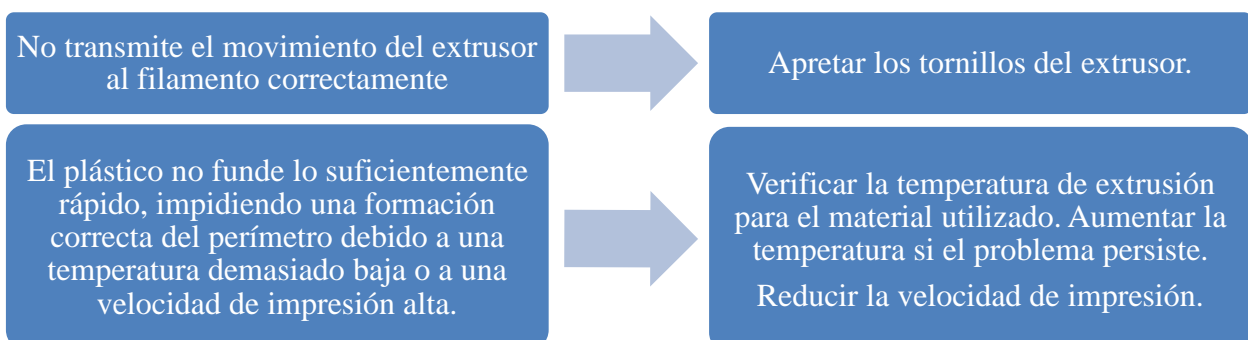
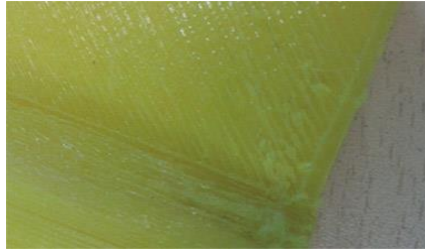


Figura B-10: Hendiduras de capas.

Los motivos y soluciones más frecuentes a este tipo de errores se muestran a continuación.

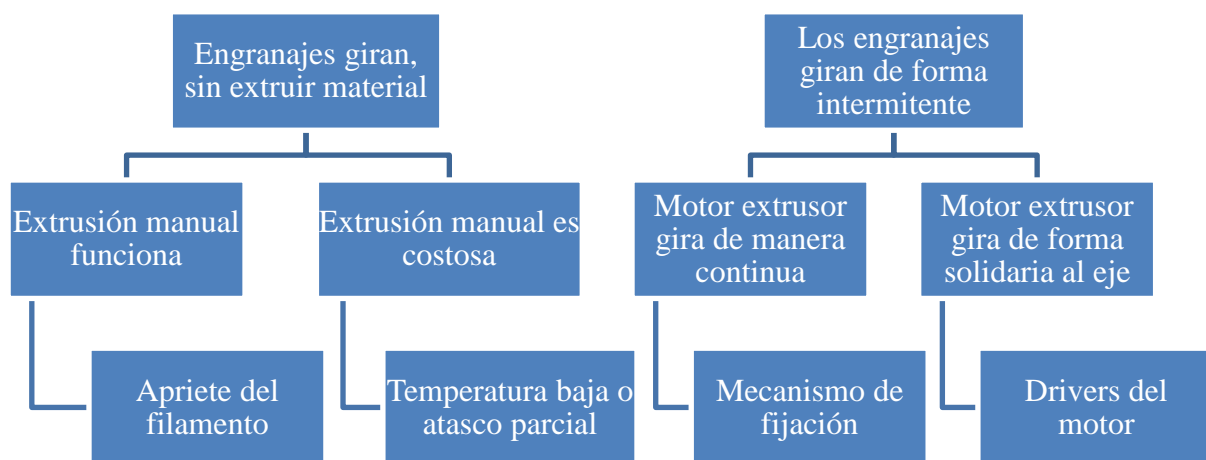


Falta de plástico



La calidad de la pieza obtenida es baja debida a falta de material donde este se ha depositado de forma intermitente. Este tipo de defectos suelen aparecer cuando existe un problema relacionado con el mecanismo de extrusión, para intentar resolverlo habrá que fijarse en el comportamiento de los engranajes del extrusor.

Figura B-11: Falta de plástico.



- **Apriete del filamento:** Los tornillos que aprietan al filamento se encuentran mal colocados. Estos podrían estar demasiado flojo o apretado, ajustando la presión adecuada este problema quedaría resuelto.
- **Temperatura baja o atasco parcial:** Si la temperatura es demasiada baja, el filamento no se funde lo suficiente para pasar por la boquilla. En caso de estar correcta la temperatura puede tratarse de un atasco parcial del extrusor. Una solución para este problema se basaría en la verificación de la temperatura de fusión del material y, en caso de ser correcta, realizar una limpieza del extrusor y desatascarlo.
- **Mecanismo de fijación:** El tornillo que fija el engranaje al eje del motor esté flojo provocando que dicho eje patine sobre el engranaje, apretando el tornillo se resolvería el problema. Otra posibilidad es que el engranaje se encuentre desgastado debido al uso de la máquina por lo que la solución sería reemplazar el engranaje.
- **Drivers del motor:** En este caso el problema reside en los drivers del motor que no están funcionando adecuadamente, las causas más habituales suele ser una mala calibración o un fallo en el componente.

Pieza inacabada

El objeto se ha fabricado correctamente hasta una altura y, a partir de esta, se produce el fallo.



Figura B-12: Pieza inacabada.

Existen diferentes posibilidades, expuestas a continuación:

- La máquina continúa en funcionamiento pero sin extruir el material.

Este problema puede surgir por diferentes causas:

- 1) El ventilador que refrigera la parte superior del HotEnd ha permanecido apagada un largo periodo. La solución sería mantenerlo activo.
- 2) Durante un largo periodo, la velocidad de impresión ha sido demasiado alta. En este caso, subir unos 20°C y mantener caliente el extrusor unos minutos.
- 3) La unión nozzle-HotEnd no está completamente sellada, por lo que habrá que sellar correctamente dicha unión.
- 4) Atasco total en el extrusor. Limpiar y desatascar el atasco o reemplazar el componente.

- La máquina se para completamente.

Las causas más comunes podrían ser:

- 1) Fallo eléctrico.
- 2) Un fallo del PC, en el caso de que no se imprima desde la SD. Se recomienda imprimir desde la SD.
- 3) Lectura errónea de la temperatura del termistor. Revisar el termistor por si se ha descolocado o estropeado, la solución en cada caso sería fijarlo de nuevo o reemplazarlo por uno nuevo respectivamente.

- La máquina se detiene pero continúa fluyendo material.

En este caso la máquina se ha detenido pero el material sigue fluyendo debido a que la temperatura se ha mantenido durante un largo periodo. Esto ocasionará una acumulación de material en el lugar donde se ha detenido el extrusor.

Este defecto puede surgir de algún fallo de los ejes. Se podría revisar con la ayuda del software de control el movimiento de los ejes, por ejemplo Repetier-Host o ponerse en contacto con el fabricante.

Otra posibilidad sería debida a un fallo del pc o la interrupción en el envío de comandos del G-code a la impresora. Este error sería fácilmente descartable si se trabaja directamente desde la tarjeta micro SD.

Hilos de plástico separados/solapados.

Hilos de plástico separados.

Este defecto se detecta en las capas superiores e inferiores de la pieza.

Cuando la capa superior no es lisa, sino que se aprecian separación entre los hilos que conforman la capa, el problema suele ser ocasionado a un flujo de plástico demasiado bajo. El material que deposita es insuficiente, por lo que los hilos no acaban de unirse apareciendo huecos.



Figura B-13: Hilos separados.

La solución en este caso sería aumentar el flujo de material cuando se realiza la configuración del G-code o modificarlo de forma manual a lo largo de la impresión.

En el caso de que los huecos se presenten en la capa inferior, el problema principal suele ser la mala calibración del eje Z, una excesiva separación entre el HotEnd y la base provoca que no se adhieran entre sí de forma uniforme los hilos de la primera capa.

La solución sería volver a calibrar el eje Z de forma que se deposite el material más próximo a la base, así la boquilla aplastará el plástico sobre la base y mezclarán mejor las líneas de material entre ellas, cerrando los huecos entre los hilos. Sin embargo, si se coloca la boquilla demasiado cerca, el plástico no podrá salir creando atascos en el cabezal.

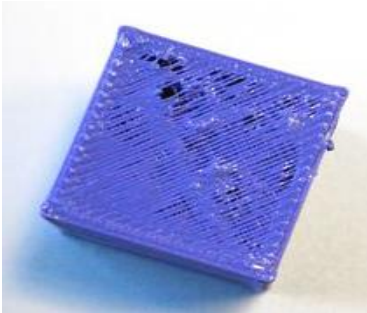
Hilos de plástico solapados

Este caso es el opuesto al anterior. El exceso de material provoca que los hilos se solapen unos con otros dando lugar a una superficie rugosa y con rebabas. Por tanto, la solución es reducir el flujo de material depositado hasta ajustarlo a un valor adecuado.



Figura B-14: Hilos solapados.

Almohadillado (Pillowing)



Al finalizar la pieza se observan bultos o agujeros sobre la capa superior de la pieza. Esto se debe principalmente a que la densidad de relleno es demasiado baja provocando que la capa superior no quede sustentada adecuadamente por el relleno.

Pueden darse otros factores que den lugar a este defecto como es la refrigeración. Sin la refrigeración adecuada las hebras de plástico tienden a rizarse y elevar la superficie, dificultando la deposición de capas posteriores.

Figura B-15: Pillowing.

Existen varias posibilidades para mejorar este defecto y, todas ellas, son respecto a la configuración de los parámetros de impresión de la pieza. Los parámetros que más ayudaran a solucionar este problema son:

- Aumentar el porcentaje de relleno de forma que se obtendrá una pieza más densa, con las líneas de relleno más juntas y capaces de soportar las capas superiores.
- Utilizar una altura de capa mayor, la capa resistirá más sin caer pero la calidad final de la pieza será peor.
- Aumentar el número de capas sólidas superiores. Al haber un mayor número de capas sólidas estos pequeños agujeros van tapándose y solucionándose con ese extra de capas sólidas pero no quita de que las primeras capas sólidas van a continuar con este defecto aunque no sean visibles.

La solución a este problema podría darse con una combinación de todos estos parámetros.

Encordado

El encordado aparece cuando se está fabricando piezas distintas a la vez o cuando la geometría de la pieza contiene partes distanciadas e independientes en una misma altura, es decir, la capa no se fabrica de forma continua y requiere de desplazamientos sin extruir material.

La solución principal para este problema es activar la retracción, de esta forma la impresora absorberá algo del filamento antes de realizar un movimiento sin extruir, ayudando a prevenir el goteo. La velocidad y distancia de retracción también son configurables.

A continuación se van a dar otras posibles soluciones para resolver este defecto.

- Aumentar la velocidad de desplazamiento de impresión.
- Reducir la temperatura del extrusor para que el material no salga tan fácil. De esta forma también habrá que controlar la velocidad ya que si está es demasiado provocará subextrusión.
- Existen filamentos que es imposible eliminar por completo el encordado y lo único que puede hacerse es reducir lo máximo posible este defecto.



Figura B-16: Encordado.

Voladizos



Figura B-17: Voladizos.

Son los casos que no existe material bajo la capa que estas depositando, como los puentes. En estos casos tienes dos puntos a una misma altura y separados donde, en la siguiente capa, se va a formar una línea uniendo dichos puntos. Al no haber material por debajo de esa unión cabe la posibilidad de que quede colgando en forma de u obteniendo una geometría no deseada.

Existen otros casos como aquellos que se van levantando con una pared inclinada. Si la inclinación no es excesiva existen formas de poder levantarla sin apoyo adicional, la inclinación crítica ronda los 45° y depende de muchos factores.

Dar solución a estos problemas es realmente complejos

debido a que son influenciados por muchos factores como la velocidad, temperatura, ángulo, longitud, voladizo, material, refrigeración...

En primer lugar, la refrigeración del material es importante y habrá que asegurarse que se encuentra el ventilador activado y al máximo.

Reducir las temperaturas también ayudará a que el material se enfríe antes por lo que, en medida de lo posible, reducir la temperatura de impresión y de la cama sobre todo si el voladizo se encuentra próxima a la cama. Hay que tener cuidado de no crear otros defectos como la subextrusión o perjudicar excesivamente la adherencia a la cama.

Respecto a las velocidades, es recomendable aumentar la velocidad en los casos tipo puente para que el hilo no se deforme por gravedad, sin embargo, cuando se trata de una pared inclinada, lo ideal es reducirla ya que altas velocidades provocarían vibraciones, afectando a la precisión y aumentando la posibilidad de que la pieza no se fabrique correctamente.

Recordar que las temperaturas y velocidades están relacionadas, cuanto más lento se haga la impresión más se podrá reducir la temperatura pero siempre moviéndose dentro de unos rangos aceptables.

También se podría reorientar el objeto para intentar evitar voladizos, aunque no siempre es posible.

Y, por último, utilizar material de apoyo.

Subextrusión

La subextrusión es lo que sucede cuando el extrusor es incapaz de abastecer el material necesario para la fabricación del objeto correctamente. Este tipo de fallo se detecta cuando se manifiesta en la pieza los siguientes problemas.

- 1) Faltan capas.
- 2) Las capas son demasiado finas.
- 3) Aparecen puntos y agujeros en la pieza al azar.
- 4) Los hilos no se tocan.

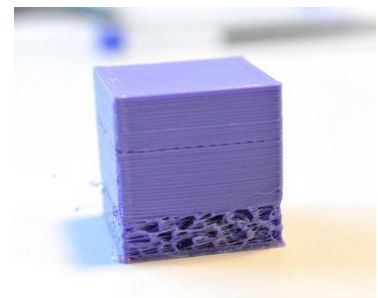


Figura B-18: Subextrusión.

Si los hilos no se tocan en las paredes también podría deberse al tamaño de la boquilla, es decir, si se diseña una pared de 1mm y la boquilla es de 0.4 mm, la pared sería dos líneas de un espaciado de 0.2mm. La solución a este programa es realizar las paredes como múltiplo de la boquilla aunque, hoy en día, los programas resuelven estos problemas de una forma muy eficiente.

Este problema puede surgir por diversas razones lo que hace muy difícil encontrar la causa directa del porqué de este defecto.

A continuación se va a exponer una lista de posibles soluciones a este error.

No aumentar flujo

- Añadir un mayor caudal cuando la impresora no es capaz de soltar lo que ya tiene no es la mejor opción para solucionar este problema.

Conocer límites de la impresora

- Cada impresora tiene sus limitaciones, si se pide más de lo que puede ofrecer la extrusión va a ser insuficiente. Para conocer el volumen que imprimes por unidad de tiempo multiplicar la altura de capa, velocidad de impresión y diámetro de la boquilla.

Temperaturas

- A mayor velocidad, menos tiempo para calentar a la temperatura de impresión antes de ser forzado a salir. Puede aumentarse la temperatura pero dentro de un rango razonable. Un largo periodo a una temperatura excesiva puede quemar el plástico y obstruir la boquilla, además favorece a formar encordado y empeorar la calidad en voladizos. Si hay que subir demasiado la temperatura es posible que la causa de la subextrusión sea por otro motivo.
- Reducir la velocidad de forma razonable proporcionará una mayor calidad y, además, no requerirá el aumento de temperatura.

Muecas en el filamento

- Si el filamento está mordido, aunque el motor empuje es posible que el hilo no pueda llegar al cabezal para ser fundido. Puede ser que haya un atasco pero, si no es así, sacar el filamento y cortar la parte defectuosa del filamento.
- Es posible que la mordida sea debido a un mal ajuste de la tensión del muelle de la palanca del extrusor. Habrá que quitarle la tensión e ir poco a poco ajustandolo para que el extrusor eche bien el material.

Filamento viciado

- Si el filamento se encuentra fuertemente enrollado y presenta una forma circular al entrar al extrusor, dando una fricción extra respecto a si este entrara de forma recta. A velocidades altas, este extra de fricción puede hacer que la impresión se estropee. Reduciendo la velocidad este problema debe desaparecer.

Enredos en el filamento

- Asegurarse de que el filamento no se queda enrollado en la bobina durante la impresión ya que este acabaría dando tirones hasta romperse. Incluso si la bobina no esta bien colocada puede llegar a caer y romper el cristal de la cama.

Obturación de la boquilla

- La boquilla de salida es muy fina y, por muchos motivos, esta puede acabar atascandose. La única solución sería limpiarla y desatascarla para poder continuar con la impresión. En caso de no tener solución habrá que reemplazar el componente.

Combing

- Tener activada esta opción reduce el tiempo de fabricación y mejora el acabado pero puede llegar a provocar micro atascos temporales que provoquen subextrusión.

Diametro del filamento

- Asegurarse de que el diametro del filamento real es el mismo que se ha puesto en el G-code. Si este varia puede provocar huecos entre las capas.

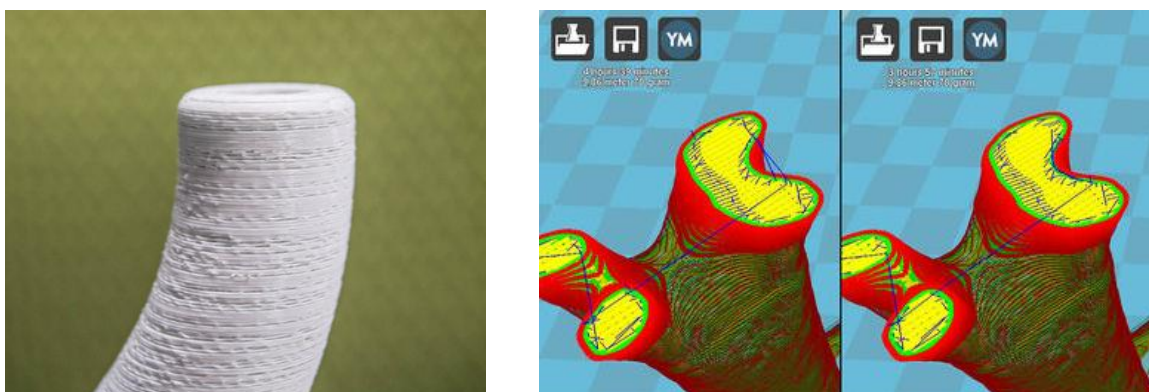


Figura B-19: Subextrusión y combing.

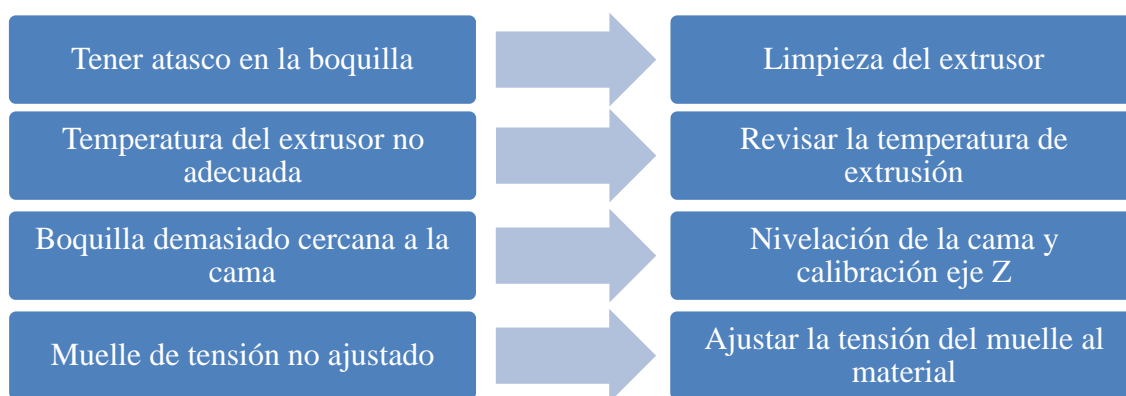
Filamento mordido (Grinding)

El filamento mordido aparece cuando este desliza sobre el motor cuando lo que trata es de empujar el filamento a través de la boquilla.

El deslizamiento se puede producir por diferentes razones. Las causas y soluciones más comunes son:



Figura B-20: Grinding.



Arañazos y Marcas en las piezas



Figura B-21: Arañazos en la pieza

Estos arañazos se producen cuando se realiza un desplazamiento sin extruir.

Una de las causas por las que puede aparecer este defecto es porque está extruyendo más material de lo necesario produciendo capas más altas de lo esperado y, al moverse por esa superficie, raya la superficie. Si esta fuese la razón, bajar un par de grados la temperatura de extrusión o reducir el flujo podría dar solución a este problema.

Otra causa puede darse debido a que, durante el viaje, caiga algo de material por extrusión. Esto tiende a ocurrir más en materiales viscosos. Para resolver este problema se puede activar la opción Z-hop, lo que hace esta función es que en cada viaje o desplazamiento sin extruir el eje suba

una cierta altura, se desplace y vuelva a bajar cuando vaya a comenzar a extruir de nuevo. Un efecto secundario puede ser creación de alguna gota, se puede eliminar más fácil que un arañazo.

Otra solución posible al caso anterior es aumentar la velocidad de viaje para reducir el tiempo, por tanto, disminución del tiempo que el plástico está calentándose y goteando.

Capas aleatorias de relleno o Faltan partes

Tras la impresión aparece rellena una zona que en nuestro modelo es hueca y/o viceversa. Esto ocurre debido a errores en el archivo del modelo que hemos utilizado para la impresión.

Estos errores se pueden visualizar desde antes de comenzar la impresión, por ejemplo visualizando la pieza, desde cura, con el modo de rayos X.

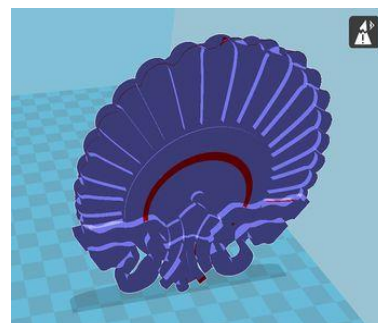


Figura B-22: Capas aleatorias.

Existen diferentes formas de solucionar este error.

- Revisar el modelo y darle solución.
- Reparar el modelo con algún software de visualización y reparación como Netfabb.
- Software de configuración de G-code, como cura, tienen la posibilidad de reparar el modelo. Existen diferentes opciones que se seleccionan desde el modo de configuración experto. Puede llegar a ocasionar otros problemas que previamente no existían según la opción que se elija.

Impresión peluda



Figura B-23: Impresión peluda.

Este tipo de defectos realmente no llega a serlo ya que los hilos que se forman son muy finos y fáciles de quitar de la pieza. Estos hilos finos suelen aparecer principalmente cuando se trabaja con materiales muy viscosos.

Burbujas en hilos y pieza

Si se observa burbujas o surcos sobre la pieza, la principal causa es la alta temperatura con la que se ha impreso el objeto. Al exceder la temperatura óptima el material es más viscoso e inestable por lo que dificulta la deposición de este en su lugar correspondiente, además crea burbujas sobre el hilo que a posteriori será visible en la pieza fabricada.

Este problema tiene una solución muy fácil, reducir el parámetro de la temperatura.



Figura B-24: Burbujas.

ANEXO 3: PLANOS

En este anexo se va a mostrar los planos de cada una de las piezas comentadas en el proyecto. Se van a mostrar una idea general de las dimensiones de todas las piezas aunque se van obviar varias de las dimensiones estéticas como los redondeos o algunas otras que no sean relevante para la fabricación de la pieza respecto a su función.

Recordando el listado de piezas, hay diecisiete piezas distintas. En total se mostraran dieciocho planos porque la *carcasa inferior* se ha dividido en dos partes por la gran cantidad de medidas importantes para su diseño.

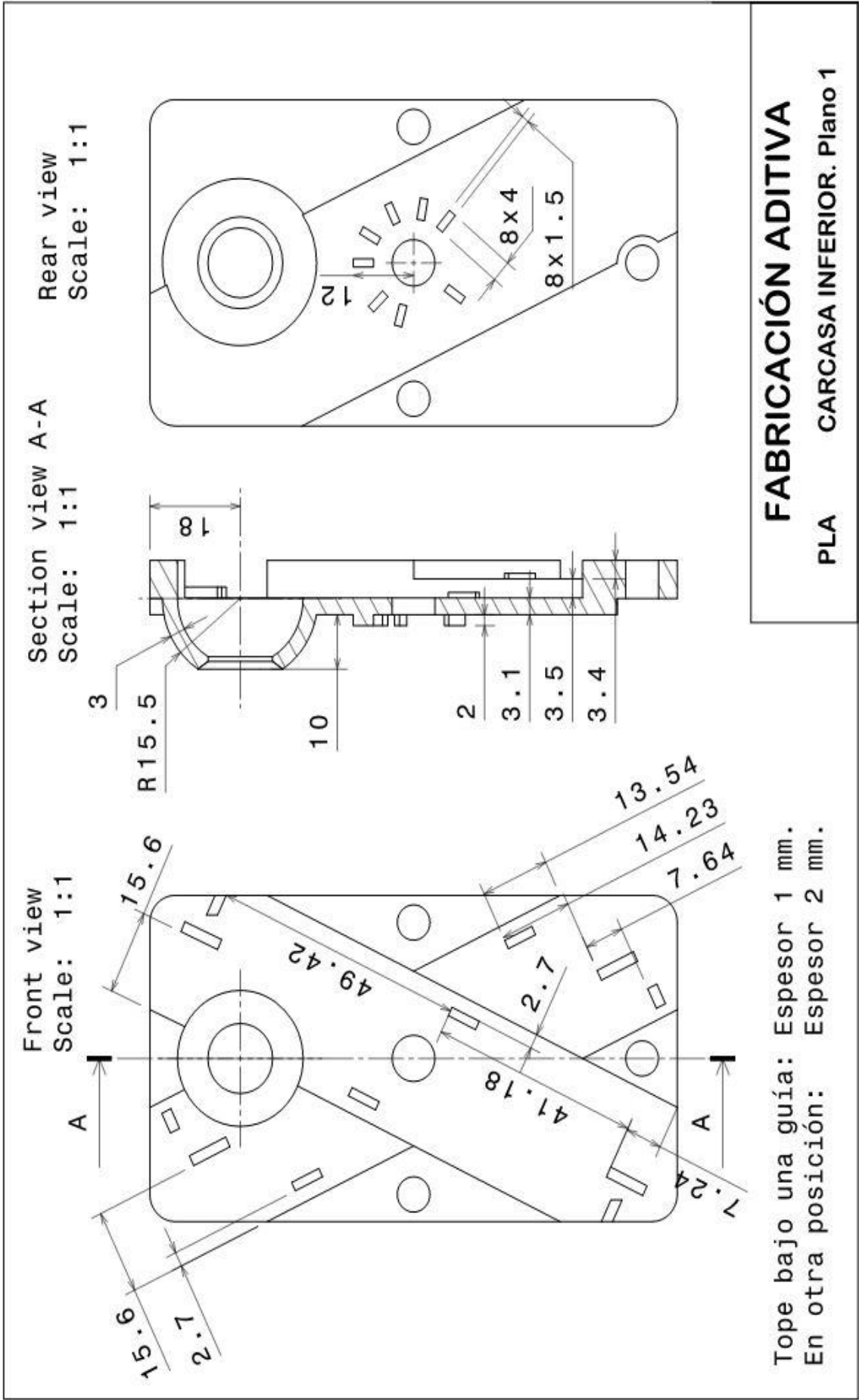


Figura C-1: Plano carcasa inferior. Plano 1.

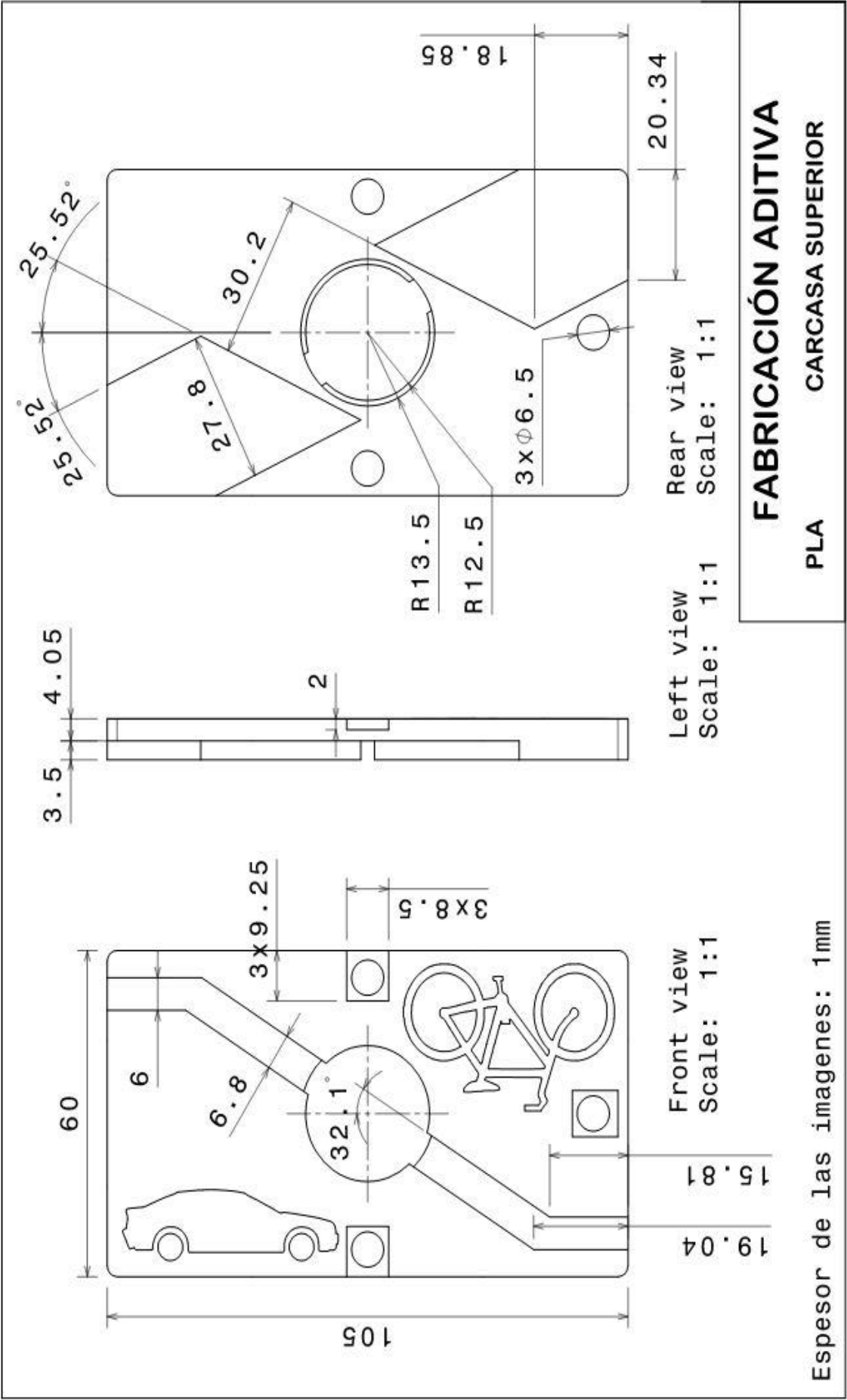


Figura C-3: Plano de la carcasa superior.

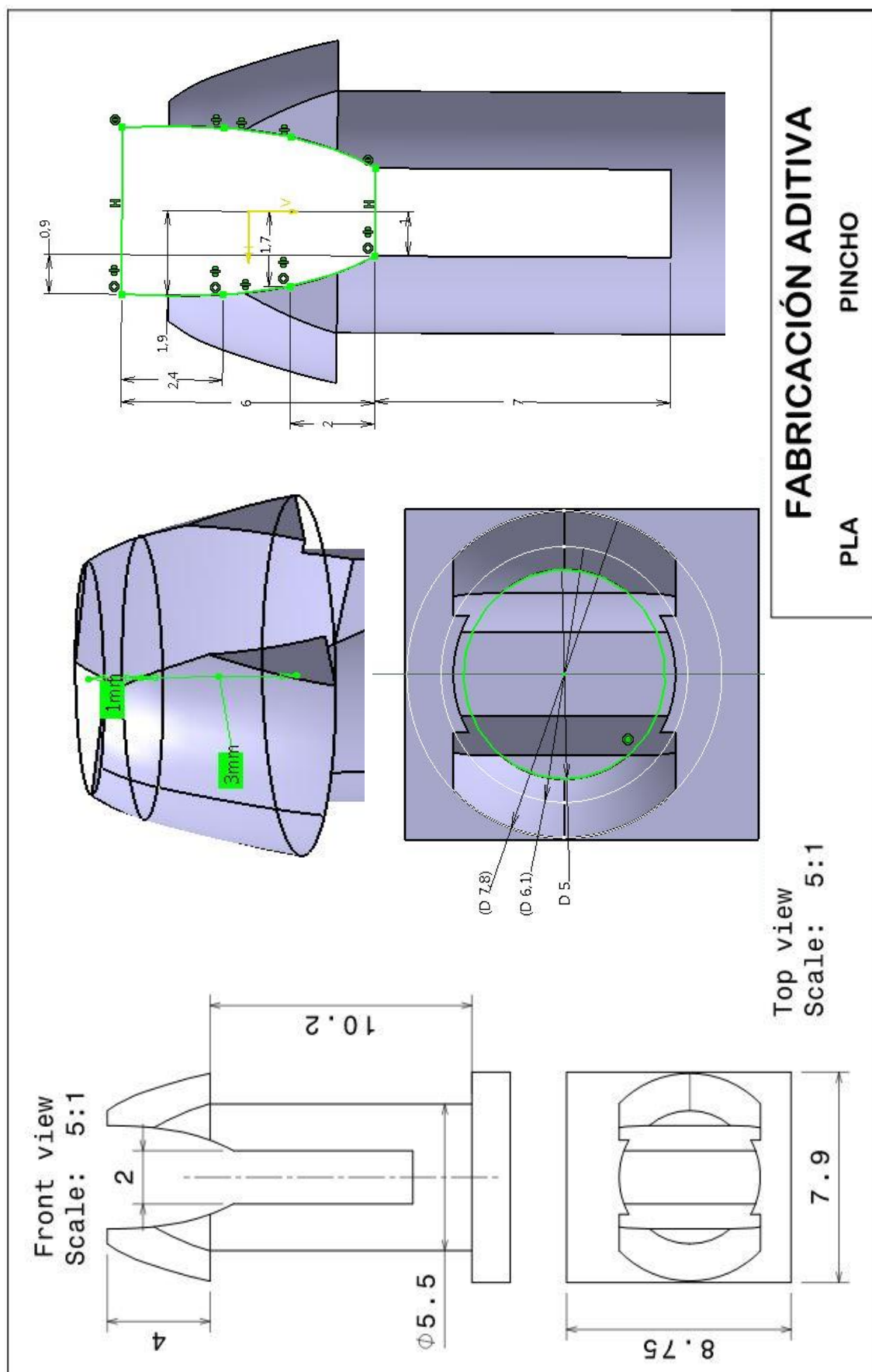


Figura C-4: Planos pincho de ensamblaje de la carcasa.

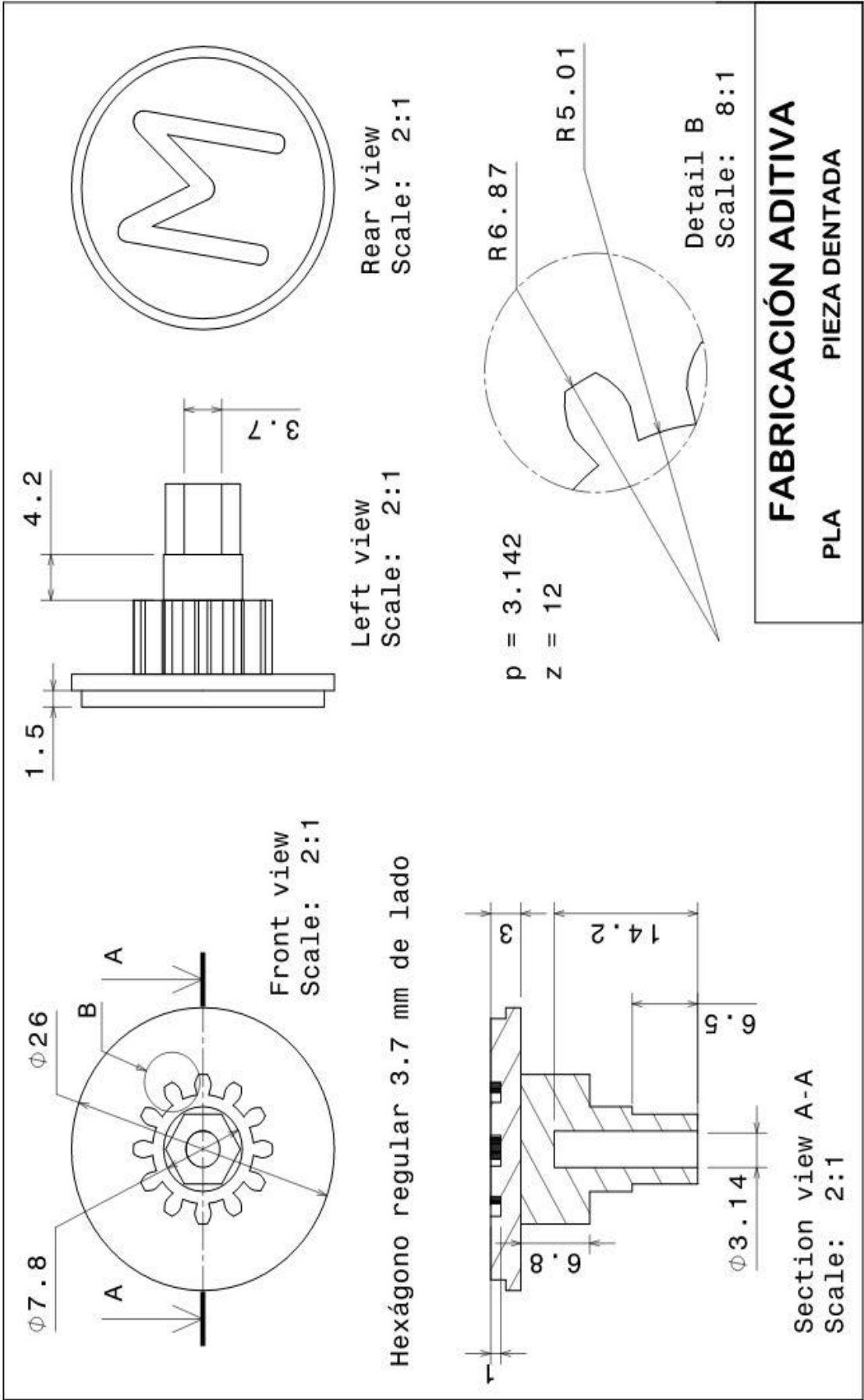


Figura C-5: Plano de la Pieza dentada.

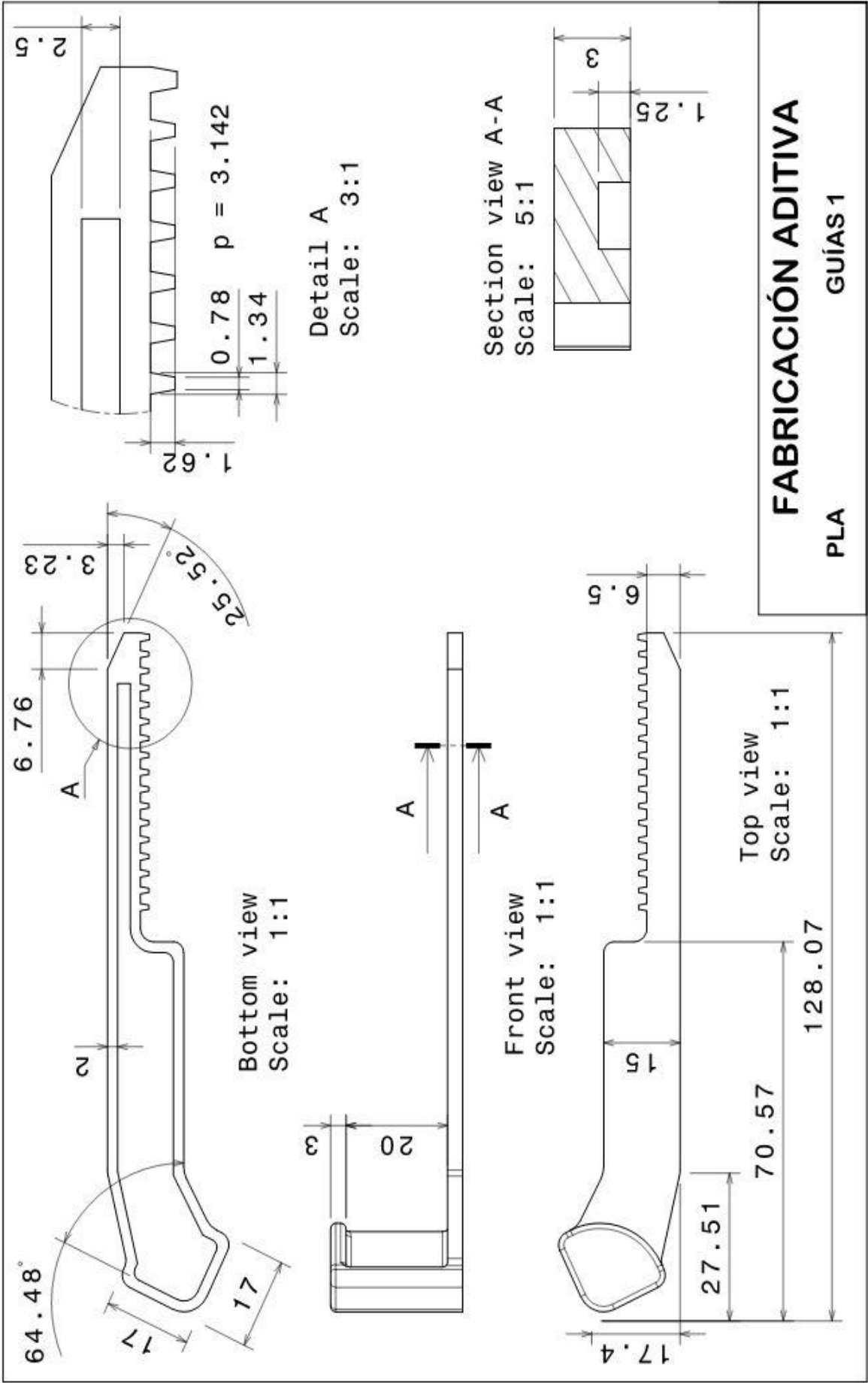


Figura C-6: Plano de la guía 1.

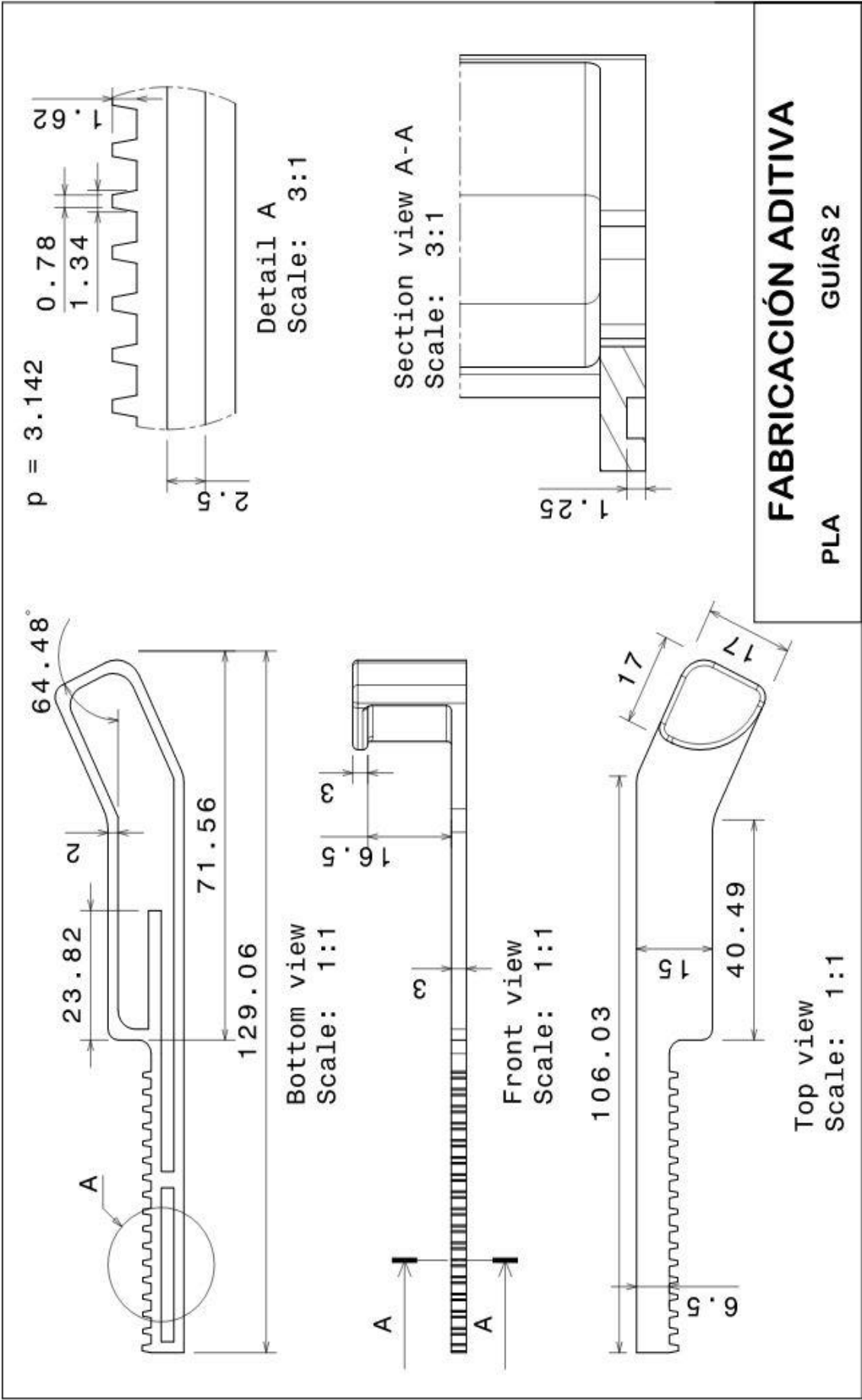


Figura C-7: Plano de la guía 2

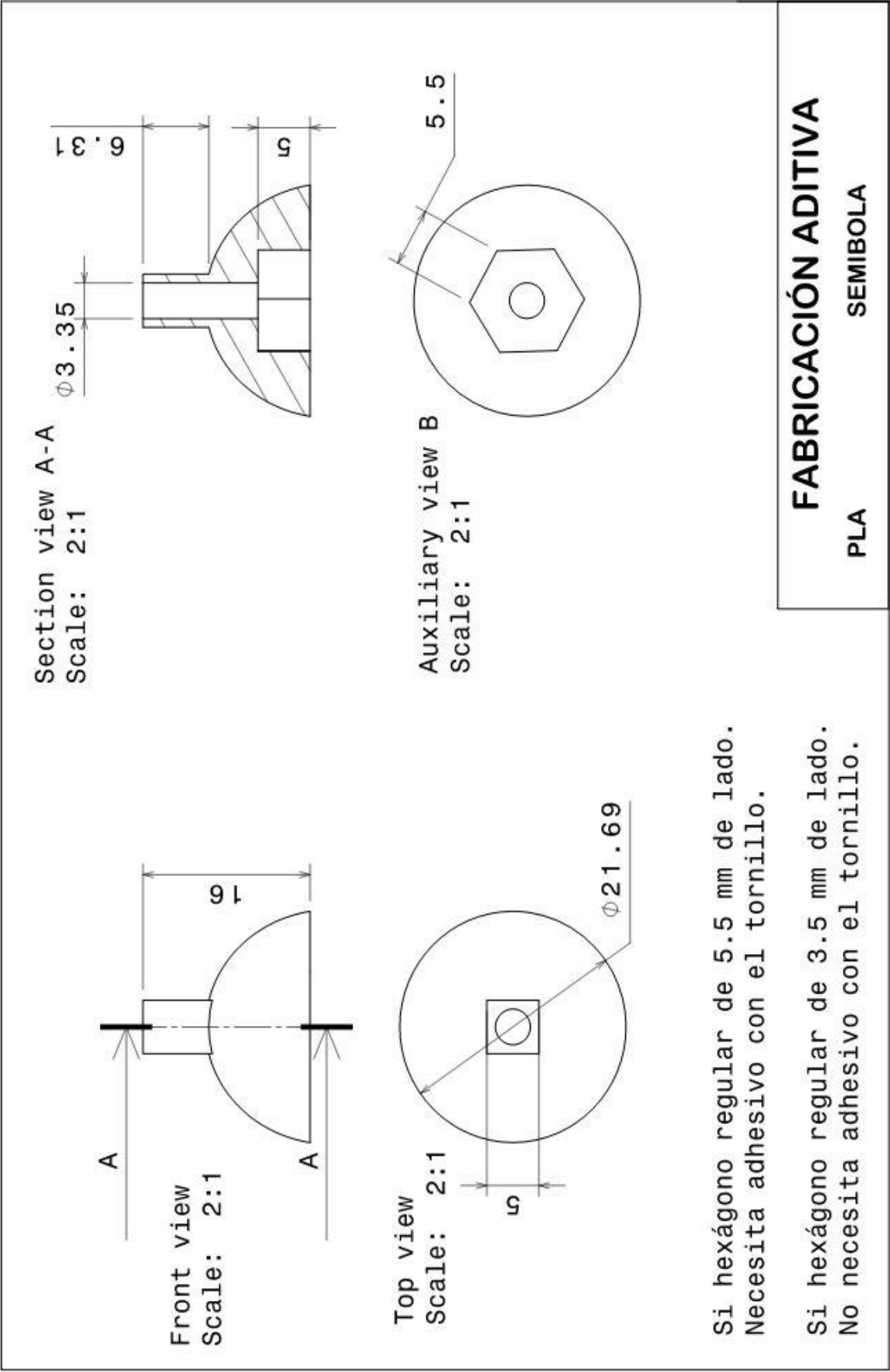


Figura C-8: Plano de la semibola.

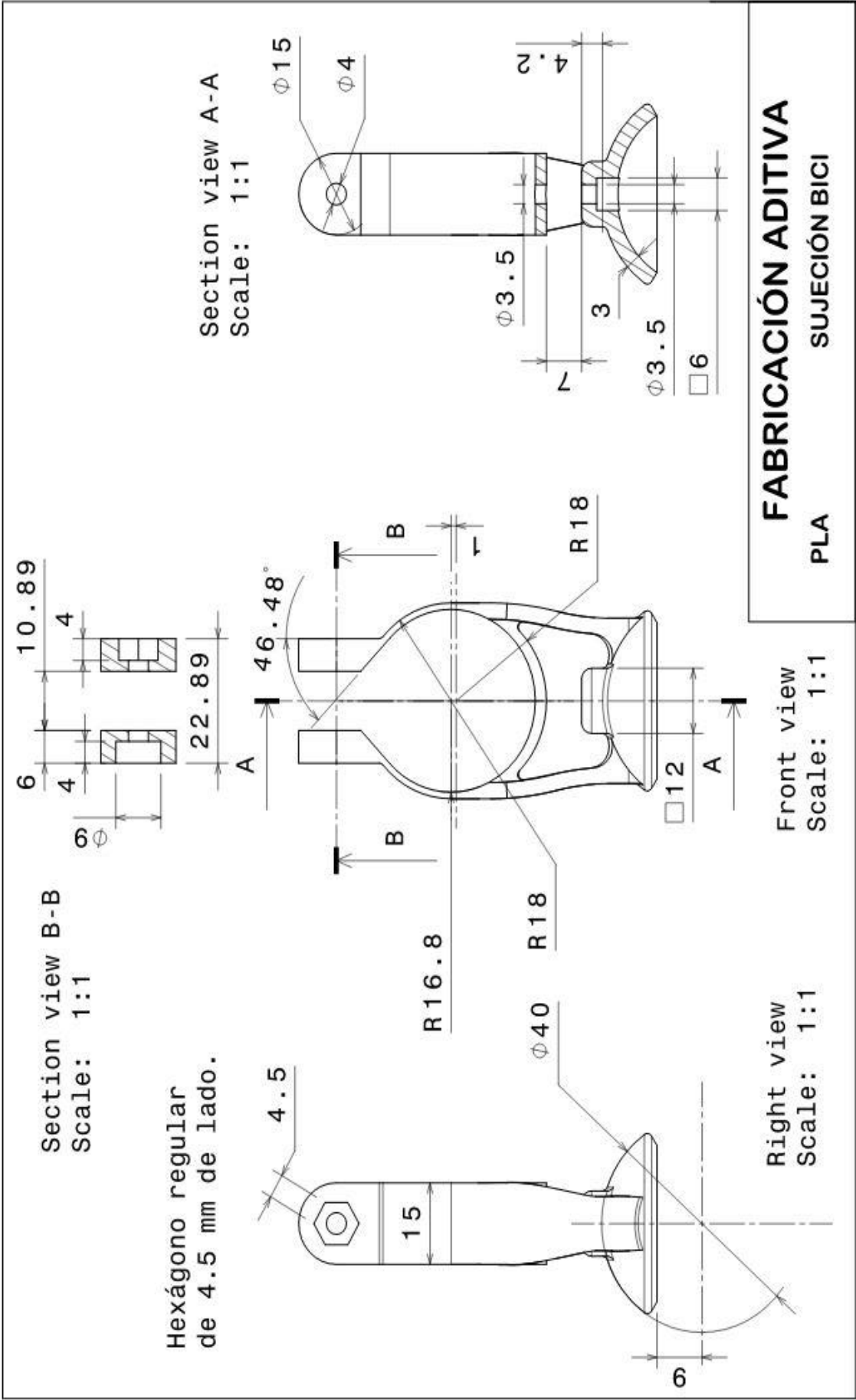


Figura C-9: Plano de la sujeción a la bici.

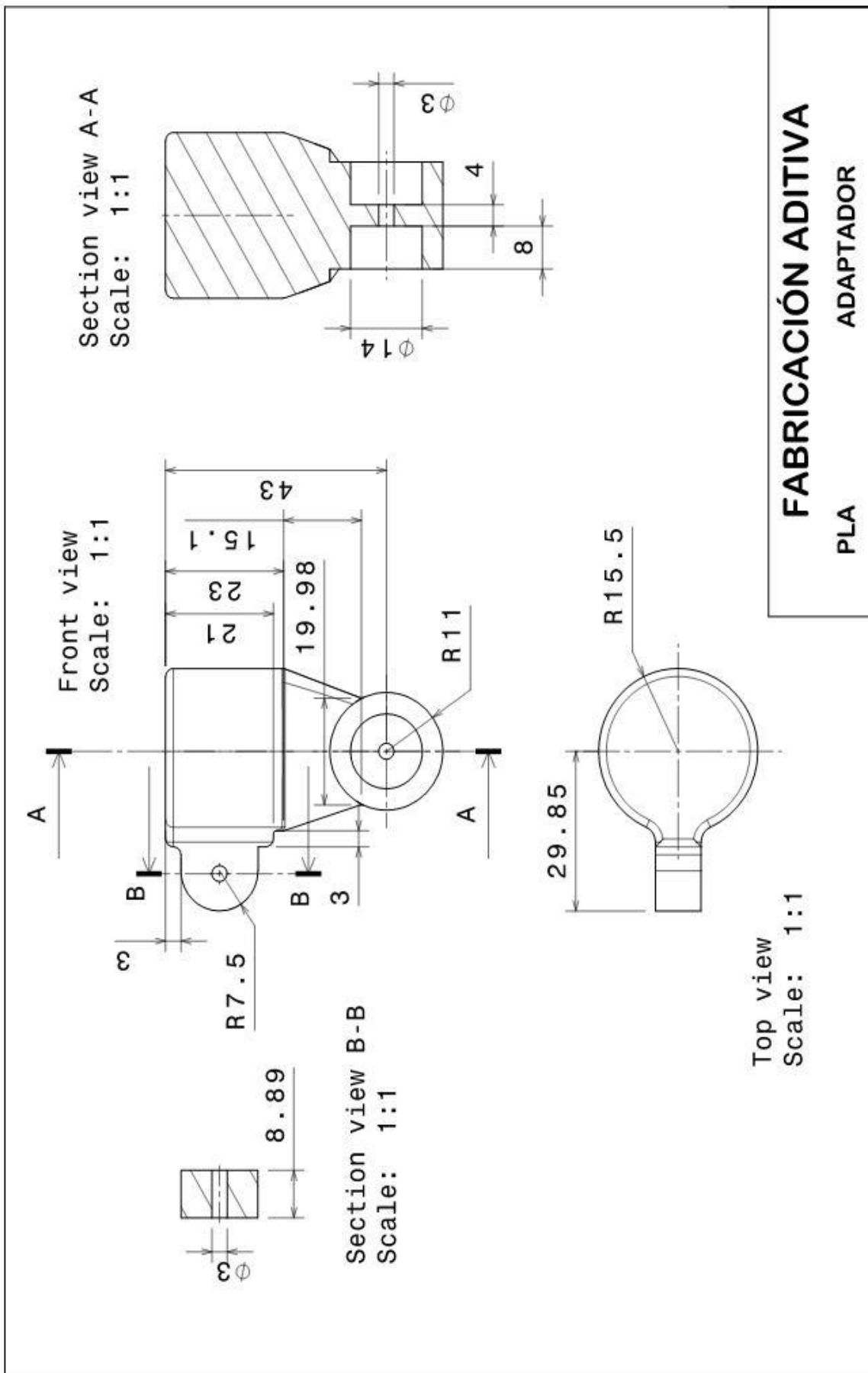


Figura C-10: Plano del adaptador.

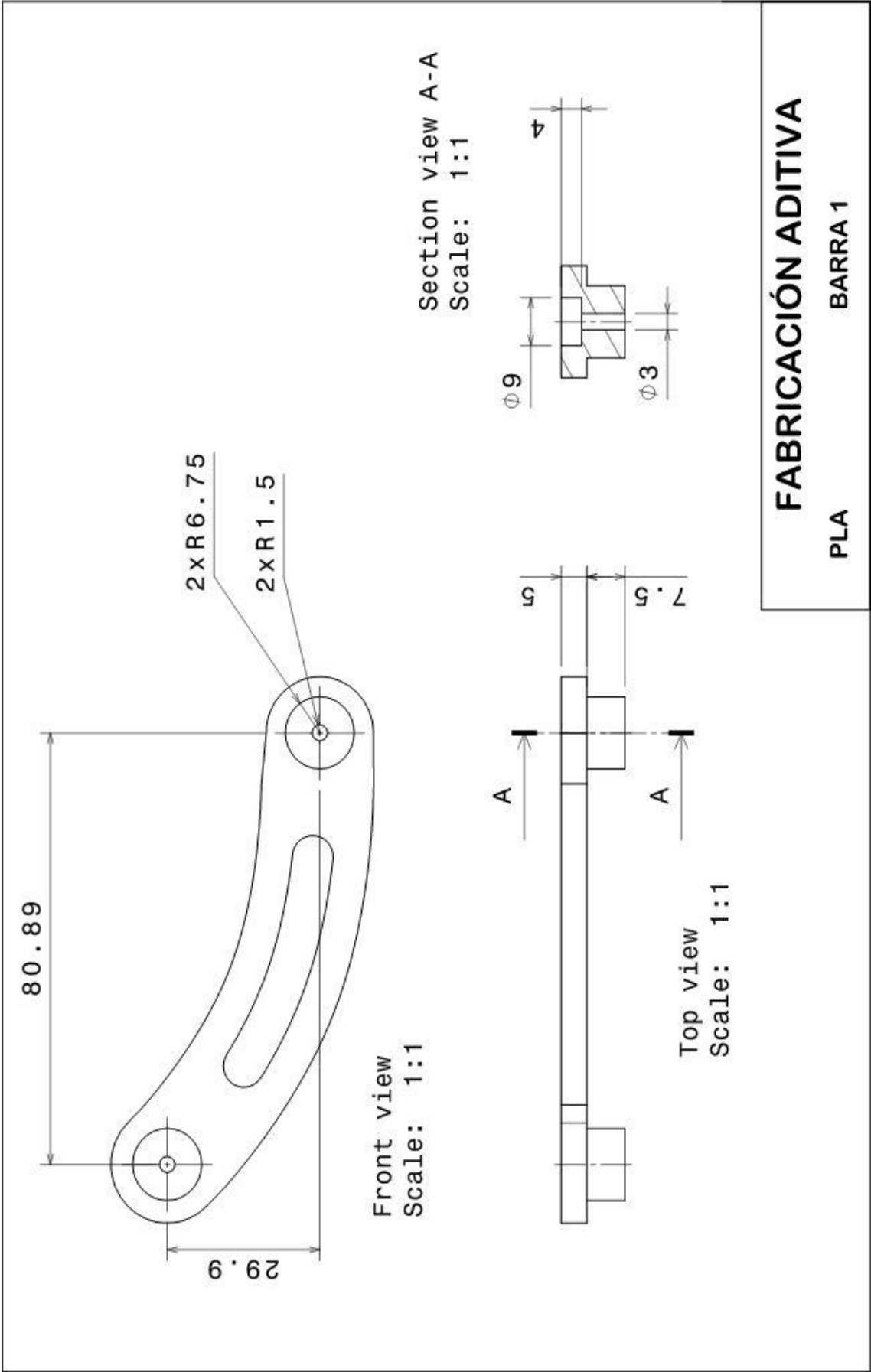


Figura C-11: Plano de la barra 1.

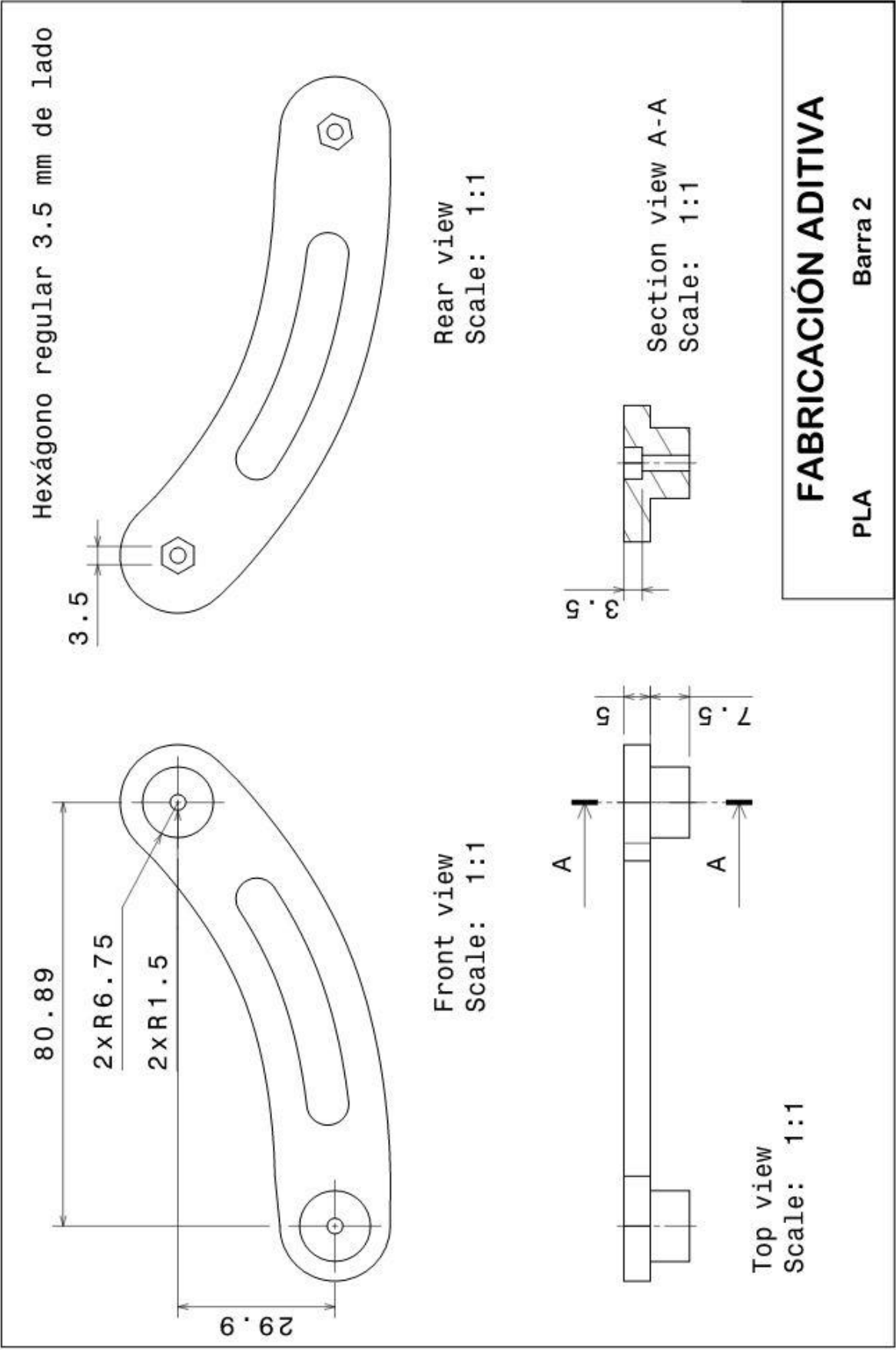


Figura C-12: Plano de la barra 2.

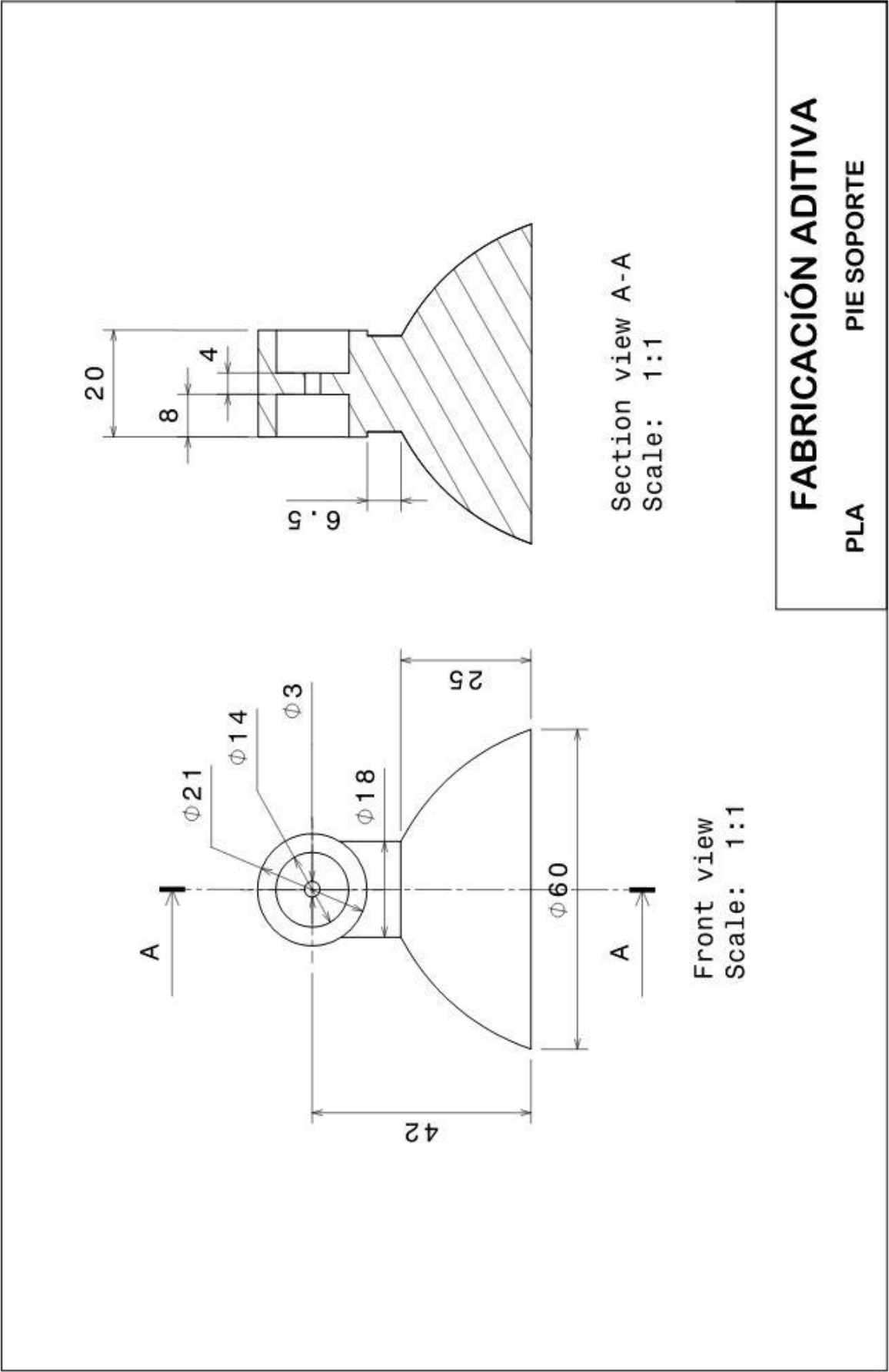


Figura C-13: Plano del pie del soporte para el coche.

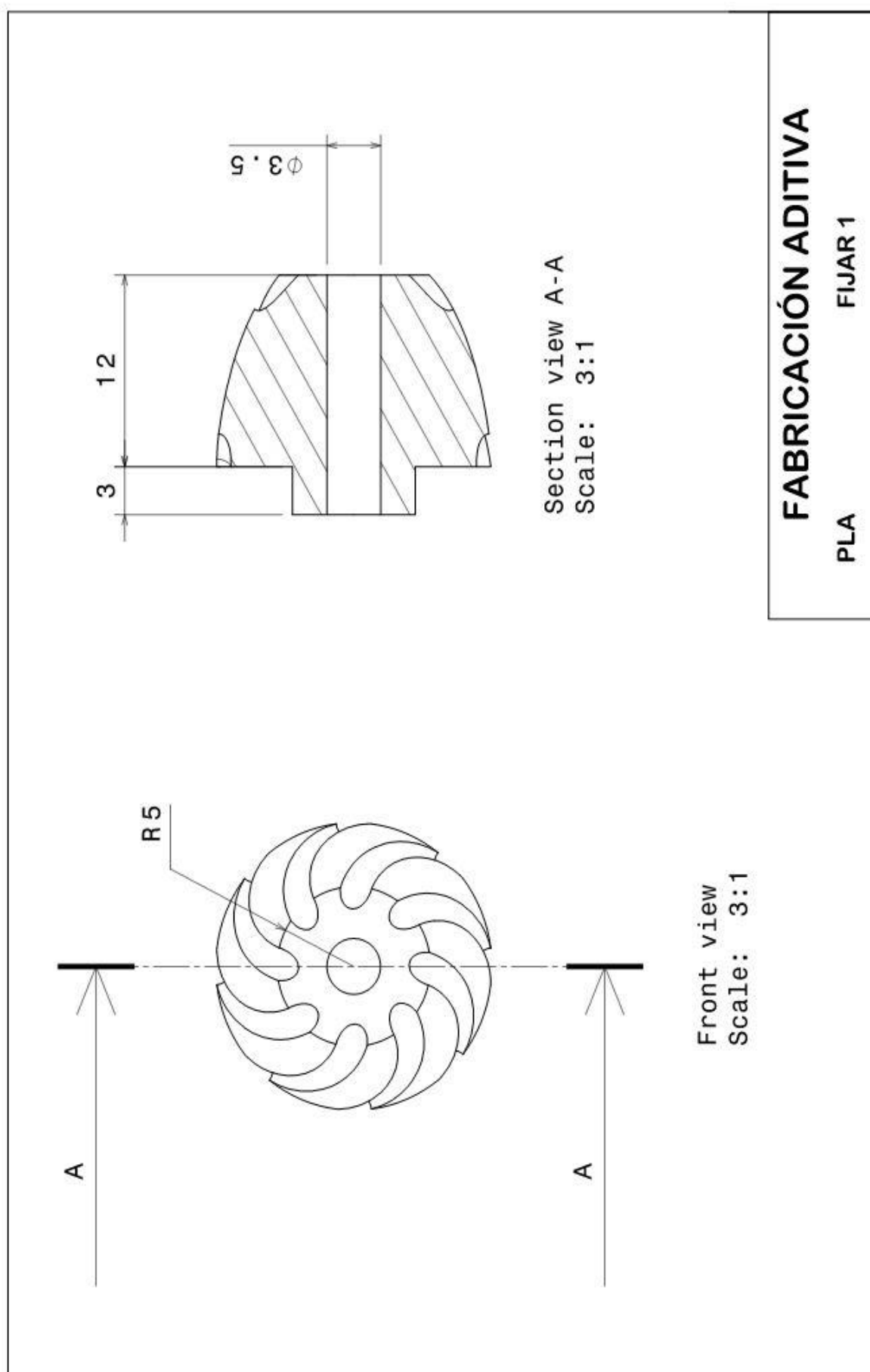


Figura C-14: Plano de fijar 1.

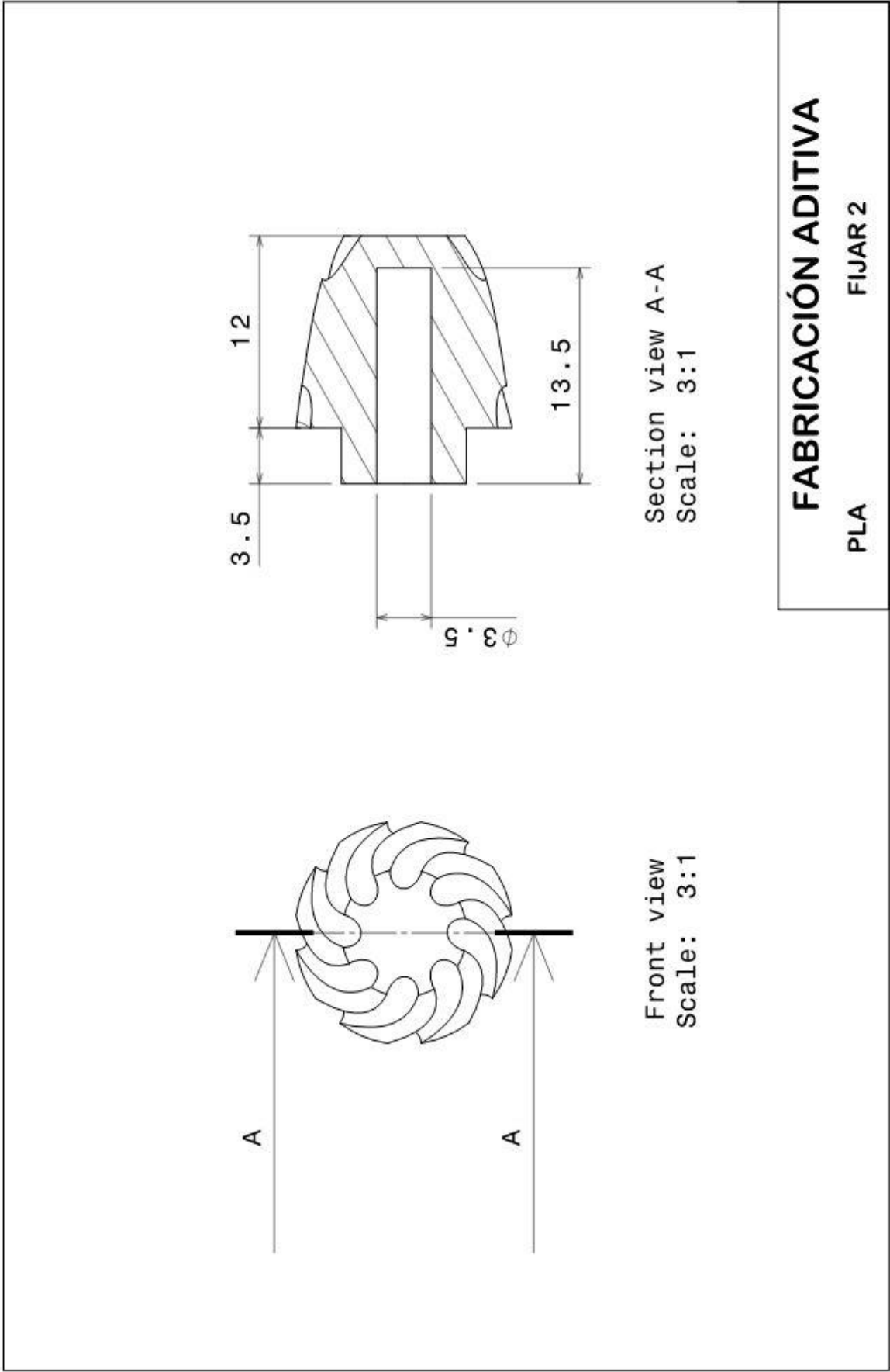


Figura C-15: Plano de fijar 2.

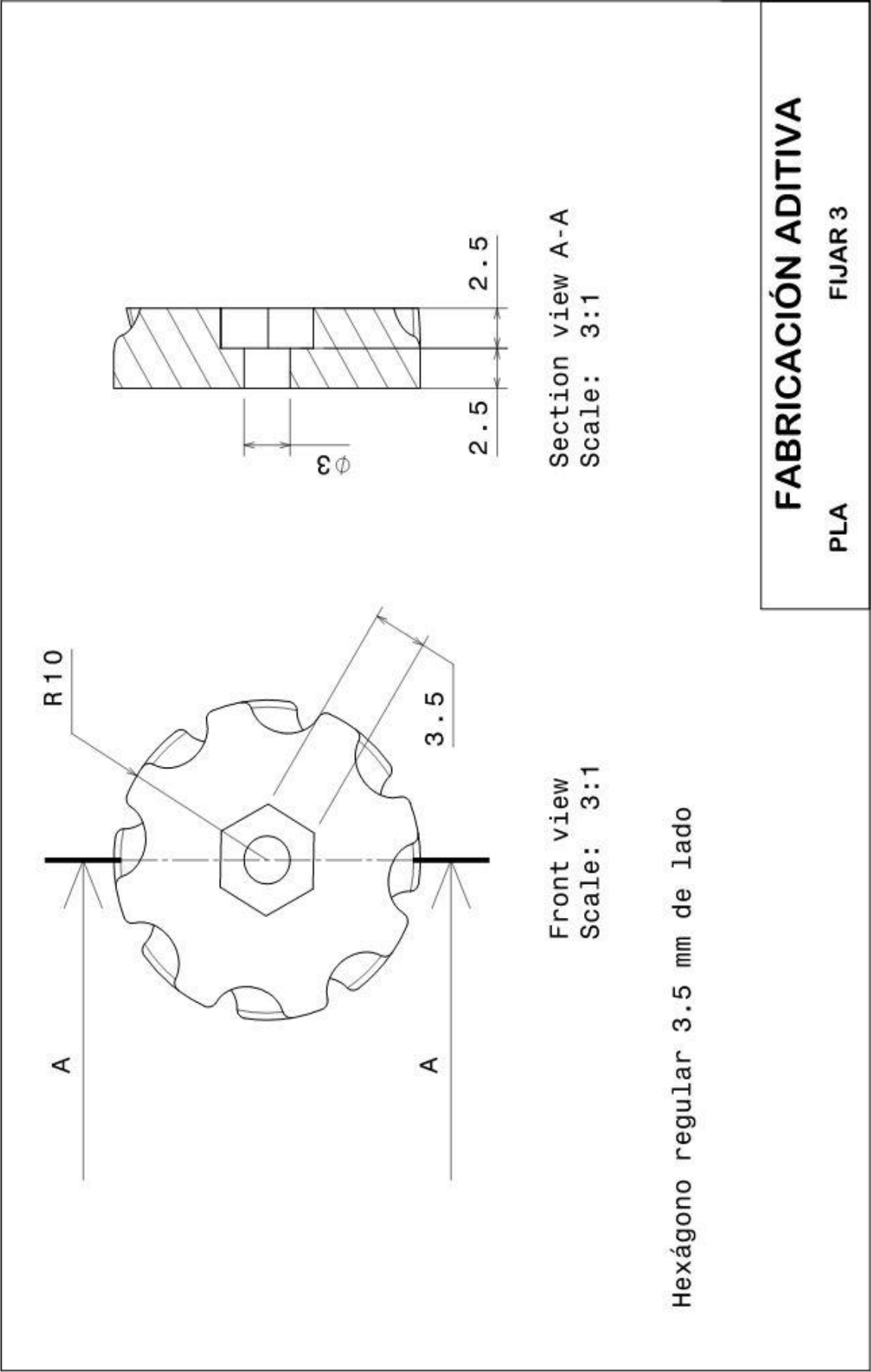
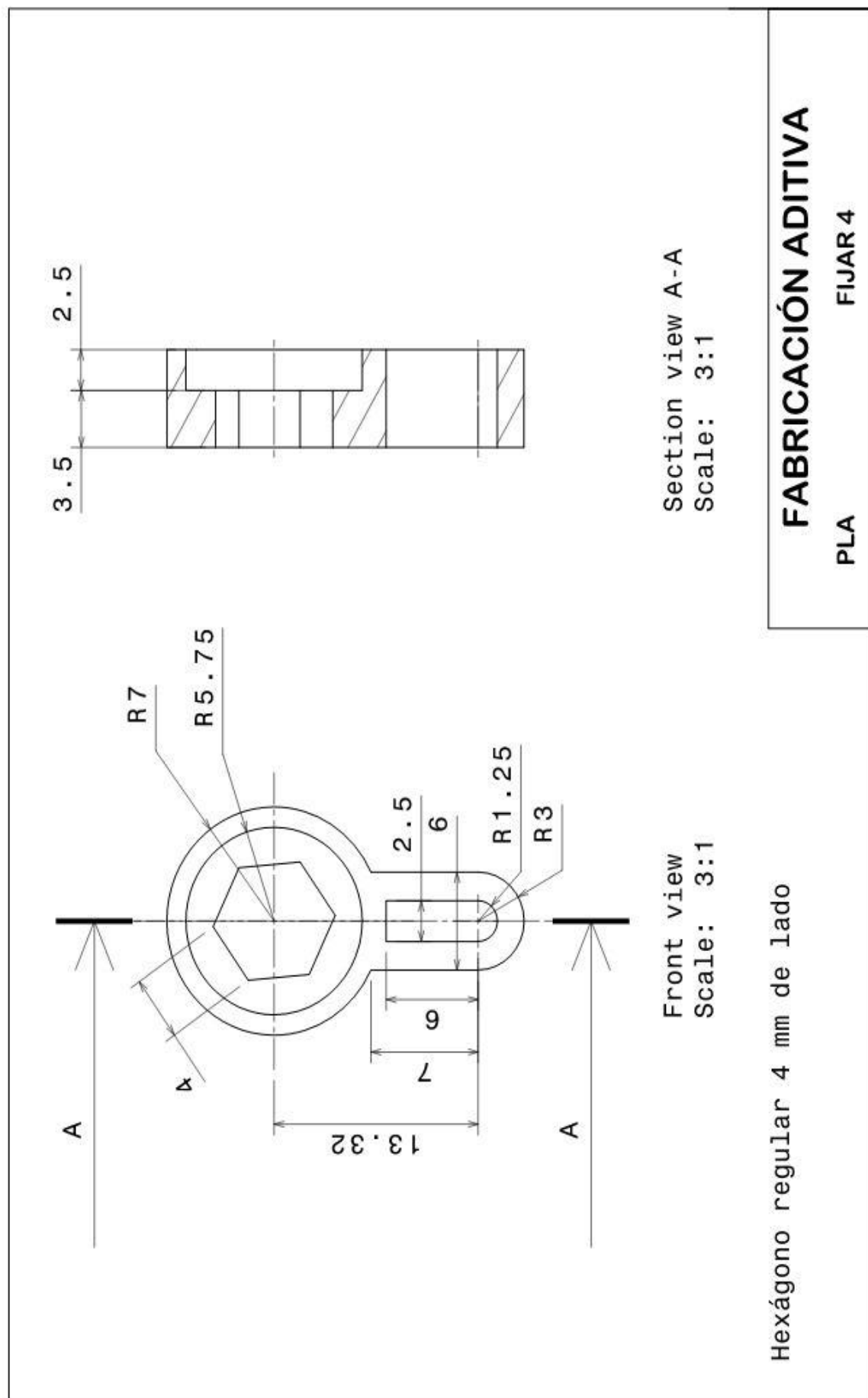


Figura C-16: Plano de fijar 3.



BIBLIOGRAFÍA

Toda la bibliografía ha sido revisada por última vez el 7 de Julio de 2017.

[1] Fundación COTEC para la innovación tecnológica. [Primera edición: Octubre 2011]. *Documentos COTEC sobre oportunidades tecnológicas: fabricación aditiva*. Disponible en:

http://informecotec.es/media/N30_Fabric_Aditiva.pdf

[2] Porras, M. [Agosto 2012]. *Análisis técnico-económico de técnicas de fabricación aditiva para aplicación en diferentes sectores industriales*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid. Disponible en:

<https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/50a4d66bb89d5.pdf>

[3] RSD ENGINEERING. Barcelona. [Marzo 2016]. *La fabricación aditiva, una revolución industrial real*. Disponible en:

<http://www.rsd-engineering.com/news/3/52/La-Fabricacion-Aditiva-una-revolucion-industrial-real/>

[4] García, L. [Enero 2016]. *Estudio de la parametrización de impresora 3D de DLP/SLA sobre resinas fotosensibles calcinables*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid. Disponible en:

<https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/578d0c357da3a.pdf>

[5] López, J.E. [Marzo 2016]. *Nota de futuro 2: Impresoras 3D*. Centro de análisis y prospectiva, gabinete técnico de la guardia civil. Disponible en:

http://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf

[6] Esteve, F. Director de Aserm, Asociación Española de Rapid Manufacturing. [Julio 2014]. *Evolución y crecimiento de la fabricación aditiva (Additive manufacturing)*. Disponible en:

[http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/126021-Evolucion-y-crecimiento-de-la-fabricacion-aditiva-\(Additive-manufacturing\).html](http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/126021-Evolucion-y-crecimiento-de-la-fabricacion-aditiva-(Additive-manufacturing).html)

[7] Jiménez, M. y Porras, J. Universidad Pontificia Comillas ETSI-ICAI. Iris A., Romero, L. y Espinosa, M.M. Área de ingeniería del diseño UNED. [Noviembre 2013]. *La fabricación aditiva. La evidencia de una necesidad*. Disponible en:

<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/116342-La-fabricacion-aditiva-La-evidencia-de-una-necesidad.html>

[8] P. Alvarez, F. Garciandia, y U. Gurmendi. Asociación centro de investigación en tecnologías de unión IK4-Lortek. [Enero 2014]. *Tecnologías y aplicaciones en fabricación aditiva de materiales metálicos*. Disponible en:

<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/118715-Tecnologias-y-aplicaciones-en-fabricacion-aditiva-de-materiales-metalicos.html>

[9] García, Ó. [Agosto 2012]. *Análisis técnico-económico de técnicas de fabricación aditiva para aplicación en diferentes sectores industriales*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid. Disponible en:

<https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/50a548fcbb7a6.pdf>

[10] Ukar, E. y Lamikiz, A. Dpto. de ingeniería mecánica de la universidad del País Vasco UPV/EHU. [Junio 2015]. *Fabricación aditiva: Qué es cada tecnología*. Disponible en:

<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/138289-Fabricacion-aditiva-Que-es-cada-tecnologia.html>

[11] Pastor, J. [Marzo 2015]. *Las impresoras 3D eran lentas... hasta ahora: atentos a Carbon3D y su tecnología CLIP*. Disponible en:

<https://www.xataka.com/makers/las-impresoras-3d-eran-lentas-hasta-ahora-atentos-a-carbon3d-y-su-tecnologia-clip>

[12] Regidor, A. [Abril 2016]. *Carbon lanza la impresora M1 con tecnología CLIP*. Disponible en impresion3daily:

<https://www.impresion3daily.es/carbon-lanza-la-impresora-m1-con-tecnologia-clip/>

[13] Diario 20 Minutos (en línea). [Diciembre 2016]. *La mayor impresora 3D del mundo reproduce la Estrella de la Muerte en Madrid*. Disponible en:

<http://www.20minutos.es/noticia/2909341/0/mayor-impresora-3d-reproduce-estrella-muerte-madrid/>

[14] Perry, Y. [Agosto 2016]. *Boeing obtiene récord por el objeto más grande del mundo impreso en 3D*. Disponible en:

<https://www.fayerwayer.com/2016/08/boeing-obtiene-record-por-el-objeto-mas-grande-del-mundo-impreso-en-3d/>

[15] Lucía. [Marzo 2017]. *La impresora 3D de metal más grande del mundo muy pronto a la venta*. Disponible en:

<http://www.3dnatives.com/es/impresora-3d-de-metal-mas-grande-del-mundo-130320172/>

[16] Interempresas. [Octubre 2016]. *Un consorcio europeo desarrollará la máquina de fabricación aditiva y sustractiva 'más grande y precisa'*. Disponible en:

<https://www.interempresas.net/Fabricacion-aditiva/Articulos/163412-consorcio-europeo-desarrollara-maquina-fabricacion-aditiva-sustractiva-mas-grande-precisa.html>

[17] Imprimalia3D. [Octubre 2014]. *Bioimpresora 3D rusa para crear en 2018 un riñón trasplantable*. Disponible en:

<http://imprimalia3d.com/noticias/2014/10/14/003441/bioimpresora-3d-rusa-crear-2018-ri-n-trasplantable>

[18] Diario 20 Minutos. [Febrero 2016]. *Desarrollan una impresora 3D capaz de fabricar tejido y órganos a escala humana*. Disponible en:

<http://www.20minutos.es/noticia/2674027/0/impresora-3d/tejido-organos/implante-humanos/>

[19] Diario El Mundo. [Marzo 2016]. *La impresora 3D de objetos que levitan*. Disponible en:

<http://www.elmundo.es/economia/2016/03/21/56efee96268e3e091c8b45fd.html>

[20] Matías S. [Julio 2015]. *La impresora 3D más grande del mundo sirve para imprimir casas muy asequibles*. Disponible en:

<http://es.gizmodo.com/la-impresora-3d-mas-grande-del-mundo-sirve-para-imprimi-1729138614>

[21] Ramos, G. [Febrero 2016]. *BigDelta, la impresora 3D más grande del mundo, es capaz de construir una casa en una semana*. Disponible en:

<https://www.idealista.com/news/inmobiliario/vivienda/2016/02/12/740971-bigdelta-la-impresora-3d-mas-grande-del-mundo-y-capaz-de-construir-una-casa-de-una>

[22] El Periódico de la Energía. [Octubre 2016]. *La fabricación aditiva, nuevo avance en la carga eléctrica de los sensores de los productos*. Disponible en:

<http://elperiodicodelaenergia.com/la-fabricacion-aditiva-nuevo-avance-en-la-carga-electrica-de-los-sensores-de-los-productos/>

[23] MizarAdditive. [Septiembre 2016]. *Fabricación aditiva en biotecnología*. Disponible en:

<http://mizaradditive.com/fabricacion-aditiva-biotecnologia/>

[24] Wikipedia. Última modificación: Abril 2016. *Bioimpresión 3D*. Disponible en:

https://es.wikipedia.org/wiki/Bioimpresi%C3%B3n_3D

[25] HXX. [Noviembre 2014]. *Aplicaciones de la fabricación aditiva (II): Industria aeroespacial*. Disponible en:

<http://hxx.es/2014/11/09/aplicaciones-de-la-fabricacion-aditiva-ii-industria-aeroespacial/>

[26] Stratasy. *Impresión 3D para fabricación aeronáutica. Airbus imprimió en 3D más de mil piezas para su avión A350*. Pruebas realizadas en el Salón Internacional de la Aeronáutica y el Espacio de París de 2015. Disponible en:

<http://www.stratasy.com/es/industrias/aeroespacial-militar/airbus>

[27] García, M.A. y García C. Grupo de Fabricación Aditiva de la Fundación Pro dintec. *Libertad en el diseño CAD gracias a la Fabricación Aditiva*. Disponible en:

<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/98847-El-diseno-CAD-entra-en-las-tecnologias-de-Fabricacion-Aditiva.html>

[28] Bullis, K. Traducido por Reyes, F. [Febrero 2015]. *La fabricación aditiva podría ahorrar el 50% del combustible a la aviación*. Disponible en:

<https://www.technologyreview.es/s/4729/la-fabricacion-aditiva-podria-ahorrar-el-50-del-combustible-la-aviacion>

[29] Miguel A. Pérez. [Noviembre 2015]. *Y ahora también aviones impresos en 3D*. Disponible en:

<http://blogthinkbig.com/y-ahora-tambien-aviones-impresos-en-3d/>

[30] Unocero. [Octubre 2014]. *Strati, el primer auto 100% impreso en 3D*. Disponible en:

<https://www.unocero.com/2014/10/09/strati-el-primer-auto-100-impreso-en-3d/>

[31] Lucía. [Noviembre 2016]. *El mercado de softwares 3D alcanzará los \$2,2 mil millones para el 2025*. Disponible en:

<http://www.3dnatives.com/es/softwares-3d-22-mil-millones-07112016/>

[32] Ampudia, M. [Febrero 2015]. *¿Qué es el PLA y por qué resulta interesante en impresión 3D?* Disponible en:

<http://www.dima3d.com/pla-material-interes-y-consejos-de-impresion-3/>

[33] Ingenio Triana. [Diciembre 2014]. *Materiales de impresión 3D: ABS y PLA*. Disponible en:

<http://ingenio-triana.blogspot.com.es/2014/12/materiales-de-impresion-3d-abs-y-pla.html>

[34] HXX. [Marzo 2015]. *Materiales de impresión 3D (I): PLA (ácido poliláctico)*. Disponible en:

<http://hxx.es/2015/03/12/materiales-de-impresion-3d-i-pla-acido-polilactico/>

[35] Verbatim. *Materiales de impresión. Preguntas frecuentes sobre filamentos 3D*. Disponible en:

<http://www.verbatim.es/es/3D/abs-vs-pla/?con=16>

[36] Diwo. [Febrero 2015]. *Mantenimiento de Prusa i3 Hephestos*. Disponible en:

<http://diwo.bq.com/mantenimiento-de-prusa-i3-hephestos/>

[37] P.R. Moliner. *Engranajes*. Cpda-ETSIIB.

Solo Imágenes

[F-1] Almerbati, N. [Junio 2016]. *Hybrid Heritage: An Investigation into the Viability of 3D-printed Mashrabiya Window Screens for Bahraini Dwelling*. Tesis. De Montfort University. Leicester.

Imagen: Página 88. Disponible en:

http://www.academia.edu/26939552/HYBRID_HERITAGE_AN_INVESTIGATION_INTO_THE_VIABILITY_OF_3D-PRINTED_MASHRABIYA_WINDOW_SCREEN_FOR_BAHRAINI_DWELLINGS

[F-2] BobCAD-CAM. Disponible en:

<http://www.softwarecadcam.com.mx/>

[F-3] IK4 Lortek. [Noviembre 2013]. *Fabricación aditiva en metal*. Imagen: Diapositiva 4. Disponible en:

<http://www.lortek.es/files/fab-aditiva/ik4-lortek-jornada-dm.pdf>

[F-4] Farinia Group. [Enero 2016]. *Design for Additive Manufacturing: An evolution of Design to Support a Breakthrough in Manufacturing*. Disponible en:

<http://www.farinia.com/additive-manufacturing/3d-technique/design-for-additive-manufacturing-dfam>

[F-5] López-Paredes, A., Universidad de Valladolid. Ramírez, M., Director de proyectos DIMA3D. [Febrero 2015]. *Impacto de la Fabricación Aditiva en la manufactura*. Disponible en:

<http://www.reporteroindustrial.com/temas/Impacto-de-la-Fabricacion-Aditiva-en-la-manufactura+103156?pagina=2>

[F-6] J.F. Brandon. [Enero 2015]. *Fabrisonic – UltraCool Ultrasonic Additive Fabrication*. Disponible en:

<https://www.solidsmack.com/fabrication/fabrisonic-ultracool-ultrasonic-additive-fabrication/>

[F-7] Industria Gráfica Online. [Junio 2016]. *Los elementos clave del mercado para impulsar la impresión 3D en aplicaciones industriales*. Disponible en:

<http://www.industriagraficaonline.com/index.php?id=15027>

[F-8] Wikipedia. Última modificación: Junio 2017. Ácido poliláctico. Disponible en:

https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_polil%C3%A1ctico

[F-9] IkaLab. Última modificación: Febrero 2015. *Materiales*. Disponible en:

<http://wiki.ikaslab.org/index.php/Materiales>

[F-10] Diwo. [Febrero 2015]. *Mantenimiento de Prusa i3 Hephestos*. **IMÁGEN IZQUIERDA**. Disponible en:

<http://diwo.bq.com/mantenimiento-de-prusa-i3-hephestos/>

IMAGEN DERECHA: Impresora del laboratorio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería.

Conjunto de referencias para completar tablas.

[C-1] TECNOLOGIAS FABRICACION ADITIVA. PÁGINA 11.

Infante, R. [2012]. *Procesos de conformado de materiales poliméricos por prototipado rápido*. TFM. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Disponible en:

<https://tfmrimuned.wordpress.com/fabricacion-por-corte-y-laminado-lom/>

HXX. [Enero 2015]. *Tecnologías de impresión 3D (IV): Fusión de lecho de polvo (SLM)*. Disponible en:

<http://hxx.es/2015/01/17/tecnologias-de-impresion-3d-iv-fusion-de-lecho-de-polvo-slm/>

EJCEMAR. [Marzo 2015]. *Tecnologías fabricación aditiva. Ventajas e inconvenientes*. Disponible en:

<https://factoryza.wordpress.com/2015/03/02/tecnologias-fabricacion-aditiva-ventajas-e-inconvenientes/>

López, J.E. [Marzo 2016]. *Nota de futuro 2: Impresoras 3D*. Centro de análisis y prospectiva, gabinete técnico de la guardia civil. Disponible en:

http://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf

[C-2] PROPIEDADES DEL PLA Y ABS. PÁGINA 21

HXX. [Marzo 2015]. *Materiales de impresión 3D (I): PLA (ácido poliláctico)*. Disponible en:

<http://hxx.es/2015/03/12/materiales-de-impresion-3d-i-pla-acido-polilactico/>

HXX. [Marzo 2015]. *Materiales de impresión 3D (II): ABS (acrilonitrilo butadieno estireno)*. Disponible en:

<http://hxx.es/2015/03/23/materiales-de-impresion-3d-ii-abs-acrilonitrilo-butadieno-estireno/>

Goodfellow. *Información sobre el material ABS*. Disponible en:

<http://www.goodfellow.com/S/Poliacrilonitrilo-Butadieno-Estireno.html>

ANEXO 1

Diosdado, R. Primera edición: Octubre de 2014. *Manual de Cura*. En español. Disponible en:

<https://www.zonamaker.com/index.php/impresion-3d/software-imp3d/manual-de-cura>

Manual software Cura. En español. Disponible en:

<http://www.prusai3.es/10-manual-software-cura/>

Solo imágenes:

[Marzo 2014]. *Repairing STL with Netfabb*. **Imagen** disponible en:

<http://ramps3dprinter.blogspot.com.es/2014/03/repairing-stl-with-netfabb.html>

Wude F. [Febrero 2011]. *El portal de vehículos usados coche.es publica calculadora de impuestos*. **Imagen** disponible en:

<http://www.sixtblog.es/noticias/el-portal-de-vehiculos-usados-coche-es-publica-calculadora-de-impuestos/>

[Marzo 2012]. *Benvinguts al bloc Agafa't a la bici* **Imagen** disponible en:

<https://agafatalabici.wordpress.com/2012/03/20/benvinguts-al-bloc-agafat-a-la-bici/>

ANEXO 2

IkasLab. Última modificación: Abril 2015. *Materiales*. Disponible en:

http://wiki.ikaslab.org/index.php/%C2%BFTienes_problemas_de_impresi%C3%B3n%3F

García, C. [Marzo 2015] *Defectos en piezas fabricadas por impresión 3D FFF: causas y soluciones*. Disponible en:

<http://www.dima3d.com/defectos-en-piezas-fabricadas-por-impresion-3d-fff-causas-y-soluciones/>

García, C. [Marzo 2015] *Defectos en piezas fabricadas por impresión 3D FFF: causas y soluciones (II)*. Disponible en:

<http://www.dima3d.com/defectos-en-piezas-fabricadas-por-impresion-3d-fff-causas-y-soluciones-ii/>

García, C. [Abril 2015] *Defectos en piezas fabricadas por impresión 3D FFF: causas y soluciones (III)*. Disponible en:

<http://www.dima3d.com/defectos-en-piezas-fabricadas-por-impresion-3d-fff-causas-y-soluciones-iii/>

García, C. [Abril 2015] *Defectos en piezas fabricadas por impresión 3D FFF: causas y soluciones (IV)*. Disponible en:

<http://www.dima3d.com/defectos-en-piezas-fabricadas-por-impresion-3d-fff-causas-y-soluciones-iv/>